Mario Casanueva
Bernardo Bolaños (Coords.)

El giro pictórico

Epistemología de la imagen

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA
Casa abierta al tiempo
Cuajimalpa

ANTHROPOS

OPEN ACCESS

EL GIRO PICTÓRICO

AUTORES, TEXTOS Y TEMAS

TEORÍA E HISTORIA DE LAS ARTES

Mario Casanueva
Bernardo Bolaños
(Coords.)

EL GIRO PICTÓRICO
Epistemología de la imagen

Xavier de Donato
Gabriela Frías Villegas
Susana Gómez
Andoni Ibarra
Sergio F. Martínez
Diego Méndez Granados
Hernán Miguel
Álvaro J. Peláez Cedrés
Víctor Rodríguez
Eduardo Zubia

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA
Casa abierta al tiempo
Cuajimalpa

ANTHROPOS

SEMINARIO DE PROBLEMAS CIENTÍFICOS Y FILOSÓFICOS, UNAM

EL GIRO pictórico : Epistemología de la imagen / Mario Casanueva y Bernardo Bolaños, coordinadores. — Rubí (Barcelona) : Anthropos Editorial ; México : Universidad Autónoma Metropolitana. Cuajimalpa, 2009
255 p. il. ; 20 cm. (Autores, Textos y Temas. Teoría e Historia de las Artes)

Bibliografías
ISBN 978-84-7658-915-1

1. Imagen - Conocimiento, Teoría del 2. Cartografía - Conocimiento, Teoría del 3. Geometría pascaliana I. Bolaños, Bernardo, coord. II. Universidad Autónoma Metropolitana. Cuajimalpa (México) III. Colección

Primera edición: 2009

D.R. © UAM-Cuajimalpa, 2009
© Mario Casanueva López *et al.*, 2009
© Anthropos Editorial, 2009
Edita: Anthropos Editorial. Rubí (Barcelona)
www.anthropos-editorial.com
En coedición con la Universidad Autónoma Metropolitana.
Unidad Cuajimalpa, México
ISBN: 978-84-7658-915-1
Depósito legal: B. 17.496-2009
Diseño, realización y coordinación: Anthropos Editorial
(Nariño, S.L.), Rubí. Tel.: 93 697 22 96 / Fax: 93 587 26 61
Impresión: Novagràfik. Vivaldi, 5. Montcada y Reixac

Impreso en España - *Printed in Spain*

EL GIRO PICTÓRICO

Bernardo Bolaños y Mario Casanueva
UAM-Cuajimalpa, México

Words make division, pictures make connection.

OTTO NEURATH (1936, p. 18)

El coloquio «Imágenes que representan saberes» reunió en octubre del 2007 en la Ciudad de México, durante cuatro días, a una veintena de especialistas de diversas disciplinas para analizar las propiedades que tiene la imagen como vehículo de transmisión de conocimientos y las implicaciones de su utilización masiva como mecanismo epistémico. Durante las discusiones, una idea comenzó a aparecer de manera recurrente: la epistemología en su sentido clásico se amplía considerablemente cuando toma en cuenta, además de enunciados veritativo-funcionales acerca de los hechos y acompañados de justificaciones racionales, imágenes acerca de saberes. Es esta ampliación la que da sustento al título de esta antología, el giro pictórico refiere a un cambio de perspectiva. Es cierto que lo pictórico no se reduce a lo gráfico y figurativo, menos aún a representaciones técnicas como son los diagramas, grafos y mapas; antes bien, alcanza a elementos como la textura, el color y la vibración de las imágenes e incluso puede llegar a lo psicológico. Si bien el giro pictórico al que nos referimos en este libro concierne fundamentalmente a la importancia creciente de las imágenes como vehículos conceptuales, es probable que las otras dimensiones del fenómeno pictórico ganen relevancia simultáneamente (el alcance del título que hemos elegido debe leerse como un primer esbozo que deberá proseguir hacia el estudio de aspectos formales y materiales de la nueva cultura de las imágenes). Nuestro objeto de atención son todo tipo de saberes (protocolos experimentales, experiencias subjetivas acerca del arte o el sufrimiento, hechos matemáticos, teorías internas en una determinada discipli-

na científica, representaciones acerca de relaciones jerárquicas o interteóricas, etcétera), pero de ellos nos interesa su representación en imágenes. Lo que ofrecemos al lector es un abanico de análisis epistemológicos sobre imágenes.

La revolución científica del siglo XVII: ¿entre pintura y geometría?

Frente a los sonidos, los olores o el tacto, soportes como el lenguaje escrito, el verbal y las imágenes parecen haber tenido una preponderancia histórica indudable en las sociedades humanas. Sin embargo, entre estos últimos no existe uno que haya adquirido una hegemonía definitiva. En el diálogo *Teeteto*, hace dos mil cuatrocientos años, Platón ya defendía el carácter pluridimensional del saber: la percepción de las imágenes del mundo era para él un punto de partida del conocimiento, insuficiente sin esas representaciones icónicas propiamente humanas que son los sueños y los recuerdos y su reelaboración gracias al *logos* en forma de construcciones geométricas, piezas de arte y textos escritos (siendo estos últimos el más poderoso recurso para la evocación de *imágenes*, mediante la imaginación).

Antes que un claro logocentrismo o un pictocentrismo, es justo hablar de la existencia de relaciones dinámicas entre saberes lingüísticos e icónicos a través de la historia. La revolución científica del siglo XVII es un caso ejemplar de cómo el conocimiento científico y matemático pudo desarrollarse ampliamente gracias a los saberes acumulados en el arte y la pintura. Hoy pocos ponen en duda la importancia del arte renacentista en la revolución científica que va de Galileo a Newton. La geometría proyectiva del siglo XVII, han explicado antes Panofsky (1927 y 1954) y Mesnard (1994, pp. 3-8), y lo hace Gabriela Frías en este libro, surgió también a partir de las investigaciones perspectivistas de los pintores del Renacimiento. Desde luego, matemáticos como Desargues y Pascal debieron sistematizar la geometría proyectiva con todo rigor formal, pero ésta es, al menos genealógicamente, el resultado de los estudios de pintores y arquitectos.

Y la pintura analizada por aquellos matemáticos no sólo fue una fuente de revelaciones para los nuevos físicos, sino incluso para los moralistas y filósofos. En su ensayo, Frías describe la

importancia que los trabajos geométricos de Pascal, elaborados cuando tenía tan sólo 16 años, tuvieron en su pensamiento filosófico. A lo dicho por ella habría que sumar la siguiente reflexión que se encuentra en los *Pensamientos*: «Si uno es demasiado joven no juzga bien, demasiado viejo tampoco [...] Del mismo modo los cuadros vistos de muy lejos y de muy cerca. Sólo hay un punto indivisible que sea el verdadero lugar. Los otros están demasiado cerca, demasiado lejos, demasiado arriba o demasiado abajo. La perspectiva determina ese punto en el arte de la pintura ¿Quién lo fija tratándose de la verdad y de la moral?» (1670, § 55).

Bourdieu afirma que la perspectiva constituye la realización más cabal de la visión escolástica o letrada, pues supone un punto de vista único y fijo, una postura de espectador inmóvil instalado en un punto de vista sobre el cual, paradójicamente, «no se adopta ningún punto de vista» (1999, pp. 38-39). El objetivo del ensayo de Susana Gómez, contenido en este libro, consiste precisamente en indagar en los obstáculos conceptuales y materiales que las imágenes tuvieron que afrontar para poder ser aceptadas como instrumentos legítimos de representación de la naturaleza. La ciencia de los siglos XVI y XVII se caracterizó por el empleo de representaciones figurativas que permitieron referir a entidades y procesos para los que no existían palabras (la creación del microscopio y del telescopio así como el descubrimiento de nuevos mundos, vinieron aparejados de entidades y procesos hasta entonces inobservados y, en consecuencia, innombrados). En el ínterin se dieron dos batallas, nos dice Gómez. La primera se levantó contra un lenguaje y unas imágenes que habían olvidado su relación de identidad con el mundo y fue acaudillada por quienes deseaban una representación que expresara fielmente la naturaleza, constituyéndose más bien en una copia de ésta. Sus partidarios confiaban en la eficacia de nuestras capacidades para representar fielmente la naturaleza.

La segunda batalla criticaba justamente este supuesto. Las imágenes que ofrecía el telescopio y las reconstrucciones racionales provenientes de la nueva geometría ofrecieron *visiones* inéditas acerca del mundo. Pero si en Pascal la perspectiva apela a un único punto correcto desde el cual hay que ver una pintura, a otros las imágenes de la nueva ciencia les enseñaron que esas no eran más que unas *perspectivas* entre muchas posibles. Si bien es cierto que uno de los elementos que más contribuyó a la con-

secución del realismo pictórico fue el desarrollo de la perspectiva, pocas veces se ha considerado que tal desarrollo dio origen al señalamiento de grandes diferencias entre las cosas y su representación. Así, el perspectivismo habría de pasar de ser una perspectiva univocista, como en Pascal, a afirmar la existencia de una pluralidad de puntos de vista.

Ello fue así no sólo por la existencia de diferentes miradas sino por la toma de conciencia de que la perspectiva podía engañarnos, lo que a su vez arrojaba dudas sobre la fidelidad de los sentidos. En el XVII la representación ya no es considerada una pura *mimesis* de la naturaleza, sino una forma de expresión humana. Como menciona Gómez, durante el siglo XVII los juegos de catóptrica fueron comunes y las metáforas barrocas del engaño de los sentidos, del mundo ilusorio, de los espejos, inundaron la ciencia de ese siglo. Sin embargo, el reconocimiento de este engaño no se tradujo en un rechazo a la ilustración científica, sino en el reconocimiento de que el trato de las imágenes requería del auxilio de los principios matemáticos de la visión y, en general, de la razón.

Finalmente Gómez critica fuertemente la visión de la historia que nos legó el positivismo, según la cual durante los siglos XVI y XVII existió un fuerte nexo entre la ilustración naturalista y una posición empirista. Para reforzar su postura, Gómez nos muestra cómo la postura de Bacon, baluarte del empirismo, acerca de las imágenes era cuando menos crítica, si no es que de franco rechazo. Tanto para empiristas como para racionalistas, vencer el engaño o las deficiencias de los sentidos requería necesariamente apelar a la experiencia controlada por la razón y ayudada por la memoria y los instrumentos.

Las ilustraciones que siguieron a la invención del microscopio y del telescopio no derivaban de constructos formales, como en geometría, ni de observaciones a ojo desnudo, como en el naturalismo, sino que se encontraban mediadas por los propios instrumentos. La idea de que tales ilustraciones se correspondían con la realidad requería de una justificación. Así como los ojos pueden mentir a quien ignore los fundamentos de la perspectiva, los instrumentos ópticos también engañarán a quien desconozca sus fundamentos científicos.

Entre los siglos XVI y XVII aparece la gran oposición entre quien confía en que una colección de imágenes científicas puede

recuperar el orden de la naturaleza, y quienes ya han tenido que aceptar que dichas ilustraciones no sirven cabalmente a los fines de establecer una clasificación o un orden. Las ilustraciones se alejan de la copia mimética de la realidad y se otorga carta de legitimidad a la carga teórica donde la selección de las características por parte del autor se torna casi explícita, con técnicas como el destacar diferentes partes anatómicas en torno a una figura general. En este tipo de ilustraciones lo que está en juicio no son solamente las capacidades pictóricas del autor, sino sus criterios de representación.

Hacia el final de su trabajo, Gómez señala que los éxitos y fracasos de la representación pictórica del mundo natural no acabaron de forma concluyente en el siglo XVII. Tampoco triunfó definitivamente la concepción de que la representación pictórica está cargada teóricamente, ni fue eliminada del horizonte científico la pretensión de realizar copias miméticas «fieles» a la realidad natural. Más bien al contrario, a partir de entonces la polémica habría de arreciar, como pondrían de manifiesto en el siglo XVIII los defensores de las imágenes científicas basadas en el ideal de tipos o quienes, por el contrario, apostaban por imágenes especulares y detalladas de los casos particulares y concretos.

A priori, razón geométrica y razón diagramática

En su ensayo, Álvaro J. Peláez Cedrés explica cómo el pensamiento griego nos legó la geometría y ésta nos proveyó de recursos para representar el mundo, de métodos de razonamiento inferencial correctos, de modelos de pensamiento y de modelos generales sobre la generación de conocimiento. A decir del autor, Kant y Carnap usaron herramientas de la geometría sintética o constructiva para hablar sobre la constitución del conocimiento.

Peláez pasa revista a algunas notas de la geometría sintética y analítica, presenta al método analítico como aquel que consiste en suponer un resultado deseado y proceder hacia atrás por descomposición del mismo, en tanto que el método sintético procede por medio de la construcción a partir de elementos más simples. Ilustra el caso Euclides, quien menciona la importancia de las figuras (en cada proposición, en la porción denominada πρότασις se nos indica la manera de construir un caso particular

de la cuestión general que se está tratando). Señala que, al vincularse con casos particulares, la geometría sintética falla en su empresa demostrativa, pues no suministra pruebas generales; en contraposición, la geometría analítica, que se vincula con el concepto de número, sí obtiene tales pruebas, al igual que la geometría proyectiva a la que presenta como antecedente del programa de Klein.

A continuación, el autor señala el papel jugado por la geometría en los trabajos de Kant y en los de Carnap. Para el primero, la idea de un objeto cualquiera debe ser vista como una reunión sintética de caracteres en una totalidad consistente y, en opinión del autor, no es casualidad que Kant ilustre este caso con un ejemplo geométrico. «Para conocer algo en el espacio, una línea, por ejemplo, hay que trazarla y, por consiguiente, efectuar sintéticamente una determinada combinación de la variedad dada, de forma que la unidad de este acto es, a la vez, la unidad de conciencia (en el concepto de línea), y es a través de ella como se conoce un objeto (un espacio determinado)». En opinión de Peláez, la síntesis figurativa procede, en relación a todo el conocimiento sintético, bajo el modelo de construcción de conceptos que se lleva a cabo en las matemáticas y en especial en la geometría pura o, dicho en otros términos, Kant hizo del método constructivo de la geometría el patrón general de todos los juicios sintéticos, tanto los *a priori* como los *a posteriori*.

Sobre la obra de Carnap, Peláez postula que éste vio en la geometría formal una teoría general del orden aplicable a cualesquiera dominios de objetos, y el sistema del *Aufbau* constituye, en sus palabras, su aplicación al análisis de la realidad. Recordemos que, influenciado por las tesis de la *Gestalt*, Carnap postula la existencia de experiencias sensoriales básicas e indivisibles que conforman un todo al que Carnap bautiza como «corriente de vivencias». Las experiencias sólo pueden ser identificadas en función de sus mutuas relaciones. El meollo de la cuestión es que las propiedades de las relaciones puedan ser usadas para ordenar la diversidad de elementos básicos y, de esta manera, al igual que en el caso kantiano «llevar a cabo la "síntesis de la multiplicidad", al formar la unidad del objeto» (Carnap 1928, p. 159). En opinión de Peláez, los ejemplos de Kant y de Carnap en el uso de métodos matemáticos con fines filosóficos nos obliga a prestar más atención a los mismos pues tal vez allí nos sea

revelada una parte del contenido normativo que hemos intentado atrapar infructuosamente por otros medios.

El ensayo de Sergio Martínez, «Elementos para una epistemología de los diagramas», coincide con Peláez en adoptar una perspectiva kantiana, al postular que algunos diagramas y representaciones geométricas ofrecen una justificación *a priori* por medio de la intuición. Esta idea es retomada en varias propuestas contemporáneas en filosofía de las matemáticas. Como menciona Martínez, Netz, entre otros, afirma que los diagramas deben entenderse como prácticas que unen a la comunidad de geómetras euclideanos porque articulan normas implícitas respecto a qué es una buena inferencia.

A la luz del ejemplo de los diagramas científicos, Martínez coincide en que la epistemología no se interesa solamente en el tipo de éxito cognitivo consistente en la correspondencia entre las creencias y los hechos. A otro tipo de fines cognitivos se les puede caracterizar como *entendimiento*. Todas las propuestas para caracterizar el entendimiento tienen como común denominador asumir que éste es una perspectiva subjetiva del conocimiento fáctico.

Martínez sugiere que los modelos falsos pueden jugar un papel importante en la epistemología y que las imágenes juegan un papel epistemológico importante en la ciencia. Eso explica que historiadores y sociólogos de la ciencia estudien en la actualidad la cultura visual en la ciencia, aunque los filósofos le hayan prestado a ésta poca misma. Aunque el tipo de diagramas que más hayan estudiado los historiadores y sociólogos sean los de las ciencias experimentales, Martínez destaca el importante papel que juegan los diagramas a niveles bastante altos de abstracción, precisamente con el fin de generar entendimiento. Esta diversidad de usos configura un tipo de razonamiento particular que podríamos denominar, con toda legitimidad, diagramático.

En particular, las representaciones homomórficas contienen la flexibilidad necesaria para mostrar ostensivamente y eludir así la formulación de inferencias explícitas de carácter lingüístico. De este modo, el uso de diagramas para plantear un problema no siempre desemboca en una unificación epistémica, pues tal tipo de representación a veces facilita el manejo conjunto de datos que son, literalmente, incompatibles. En resumen, la tesis central del trabajo de Martínez es que los diagramas juegan un

papel fundamental en la constitución de saberes en la ciencia, en la medida en que contribuyen a dar cuenta de la estructura lógica de formas de razonamiento que no se presentan en forma exclusivamente lingüística.

Los diagramas nunca son neutrales

En la contribución «La representación gráfica de la causación», Hernán Miguel nos brinda, en primer lugar, un panorama de la manera en que típicamente se ha venido representando la relación de causa-efecto en diferentes áreas del conocimiento. En este panorama, el autor recopila diagramas causales que otros autores han empleado en diferentes áreas, desde las más sencillas que comunican maniobras entre malabaristas, hasta las más sofisticadas maneras de calcular en qué grado cada uno de varios aspectos sociales contribuye a la ocurrencia de cierto efecto también social.

En la segunda mitad de su ensayo, aborda los diagramas causales que se utilizan en la actualidad para la discusión filosófica acerca de la relación de causación. Hace notar que los diagramas aceptados hasta ahora, a la par que rescatan ciertos aspectos que los tornan útiles para la representación, omiten otros que, en ocasiones, impiden la resolución de diferentes conflictos que las teorías de la causación enfrentan para dar cuenta, exitosamente, de los casos más resistentes al análisis. Advierte que, como toda representación, la elección de un tipo de diagrama causal, cualquiera que fuera, tiene esta dificultad. Por este motivo, su análisis no está enfocado a mostrar que ningún diagrama sería exitoso en dar cuenta de la causación, más bien está dirigido a mostrar que es necesario precisar para cada caso conflictivo si la representación gráfica que se ha de utilizar para su análisis rescata los aspectos por los cuales el caso se ha tornado conflictivo. De este modo, la sugerencia podría resumirse diciendo que existen diferentes diagramas causales y la elección de cuáles son los diagramas adecuados queda supeditada a los objetivos del análisis. Un ejemplo de gran impacto es el referido a la diferencia entre causar cierto episodio y simplemente no intervenir dejando así que ocurra ese episodio. Estos casos, de gran interés en el ámbito forense y en la medicina, suelen analizarse median-

te diagramas que no rescatan las situaciones con suficiente detalle. Es habitual encontrar en la bibliografía que se representan con un mismo diagrama casos de asesinato y casos de no impedir un curso natural que lleva a la muerte. Esta situación da como resultado que los diagramas utilizados, lejos de echar luz sobre la cuestión bajo estudio, terminan enmascarando las notas distintivas que necesitamos visualizar para poder comprender en qué consiste la diferencia entre causar y dejar que ocurra. Así el autor nos presenta el problema de cómo elegir una representación para las relaciones causales en un recorrido que nos lleva desde la aparente neutralidad de un diagrama hasta la inevitable limitación en la que el diagrama nos obliga a aceptar conclusiones en el estudio de los casos conflictivos. De este modo, el autor, lejos de dejar resuelto un problema filosófico y el uso de imágenes en el análisis de la causación, nos permite introducirnos en un tipo especial de reflexión sobre la representación en la que cada usuario pueda estar advertido de qué parte de los resultados inevitables del análisis derivan de la elección del tipo de representación gráfica, cuestión que es evitable. Así las cosas, el autor sugiere que los usuarios pueden estar ejerciendo una elección que fortalezca o debilite el surgimiento de diferencias o notas comunes y de ese modo moldean el conocimiento transmitido eligiendo cuidadosamente, aunque en ocasiones inadvertidamente, los diagramas que representan aquello que tienen en mente como situación causal. La búsqueda filosófica que se propone analizar en qué consiste la causación, entonces, deberá afilar sus herramientas para no encontrar aquello que los usuarios han incluido en las representaciones y perder aquello que los usuarios han omitido en sus diagramas.

De las imágenes empleadas tanto en la ciencia como en el razonamiento ordinario, los mapas son quizá el ejemplo más prodigioso de objetividad carente de neutralidad. Asociados a perspectivas culturales, marcados por la elección de una escala, los mapas son sin embargo imágenes susceptibles de representar verdadero conocimiento. Las imágenes cartográficas no sólo representan sino que, en buena medida, a través de ellas se construyen los territorios. En su contribución, Xavier Donato examina precisamente la analogía entre mapas y teorías. En un primer término, el autor nos invita a reconocer el lugar central que ocupa la espacialidad en la inmensa mayoría de nuestras represen-

taciones y señala que, dada nuestra condición primate, no parece descabellado establecer algún tipo de analogía entre la espacialidad y nuestros aparatos conceptuales. A continuación destaca algunas grandes similitudes entre mapas y teorías. i) Ambos poseen un contenido informacional inmanente (independientemente de que los mapas puedan tener elementos estéticos, decorativos o de otro tipo, fundamentalmente, han sido diseñados para transmitir información). ii) Los dos ostentan elementos convencionales que son aprendidos en la práctica. Esto último implica que su correcta comprensión requiere la puesta en práctica de las habilidades de un sujeto entrenado. iii) Unos y otras pueden ser vistos como «argumentos» de cierto tipo pues ambos poseen poder inferencial, para Donato es claro que, «cierto tipo de diagramas y dibujos pueden verse como teniendo determinado valor probatorio». Pero aunque ambos funcionan como instrumentos inferenciales, ellos mismos no son verdaderos o falsos sino más o menos exactos, o precisos, pues poseen siempre un carácter aproximado. iv) Finalmente, Donato señala que mapas y teorías son objetos idealizados basados en presupuestos contrafácticos perfectibles.

La segunda parte de la colaboración de Donato está dedicada a presentar las ventajas de una concepción inferencialista de la representación científica, según la cual los dos aspectos primordiales de una representación son: direccionalidad e intencionalidad. La primera refiere al hecho de que modelos, grafos, diagramas, ecuaciones, u otros tipos de soporte son usados para representar un determinado asunto (soporte $\xrightarrow{\text{representación}}$ asunto). La segunda significa que el representante es usado por un determinado agente con la intención de representar cierto aspecto del mundo. Esto significa que la representación no puede ser vista simplemente como una relación diádica entre representante y representado sino que debe considerarse un tercer elemento. Es por ello que el diagrama anterior debe completarse con la adición de un agente (agente $\xrightarrow{\text{intención}}$ (soporte $\xrightarrow{\text{representación}}$ asunto)). En este sentido, es claro que el éxito de un modelo o representación no radica en su correspondencia con lo representado sino, más bien, en su éxito empírico instrumental. Es por ello que tanto mapas como teorías pueden verse como «prótesis inferenciales» construidas con la intención de sistematizar nuestra experiencia de la realidad a fin de facilitar nuestra intervención en la misma.

Las imágenes científicas: entre teoría y observación

En el artículo «Las imágenes digitales en astrofísica: Mediadores numéricos entre observación y teoría», Andoni Ibarra y Eduardo Zubia sostienen que las teorías tradicionales de las representaciones científicas se desarrollan habitualmente según una concepción lineal y secuencial del proceso de producción cognitiva. En otras palabras, se desarrollan a partir de una concepción de la cognición identificada con un sistema de tratamiento lineal de la información, según la cual los datos observacionales operan a modo de entrada y, sucesivamente, la aplicación sobre ellos de marcos conceptuales y teóricos permite concluir en una representación más compleja que permite dar cuenta —explicar— los datos iniciales.

Frente a esa concepción de la representación, el punto de vista que sostienen estos autores consiste en considerar el aspecto interactivo de la representación, el cual caracteriza a ésta sobre todo bajo la perspectiva *procesual o procedimental*, como una actividad. Esta es una perspectiva que remite a la concepción de la representación mantenida por el científico y filósofo francés Pierre Duhem: la representación de la ciencia física como actividad de síntesis que permite obtener activamente información del mundo. En la contribución se destaca este aspecto sintético, poco estudiado, de la concepción de Duhem. De acuerdo con la interpretación de Ibarra y Zubia de la interacción sintética duhemiana, las representaciones científicas son sistemas esencialmente activos que constituyen las informaciones que se encuentran en el origen de la experiencia —datos observacionales— y que las representan de manera compleja.

En el artículo se considera esta actividad de síntesis en la teorización representacional de la astrofísica. Las imágenes visuales no se basan meramente en datos observacionales ni en la información contenida en las propiedades estructurales de esos datos. En otras palabras, representar visualmente en astronomía no significa obtener información detectando estas propiedades estructurales en la observación sino que, más bien, los objetos de la representación astrofísica son constituidos a partir de la fijación de propiedades combinatorias estables en la interacción entre los modelos teóricos y los datos de observación. En la concepción interactiva duhemiana se concibe la imagen astrofísica como

una relación de adecuación —*síntesis*, en la terminología de Duhem— del entorno teórico con el entorno observacional.

Ibarra y Zubia analizan el proceso de manera detallada y muestran cómo la construcción de las imágenes astronómicas se logra mediante el procesamiento digital interactivo de las imágenes brutas producidas en los detectores. Estas son sometidas a un proceso técnico de reducción que sigue una serie de pasos característicos. A su vez, los modelos numéricos permiten obtener resultados cuantitativos a partir de las ecuaciones diferenciales constitutivas de las teorías físicas, mediante una serie de idealizaciones que permiten su integración. A menudo, los modelos producen imágenes que interactúan sintéticamente con los resultados observacionales. La interacción entre modelos y observaciones, entre imágenes y gráficos, constituye una actividad representacional característica de la teorización en la astrofísica contemporánea.

En este mismo sentido, el trabajo de Diego Méndez plantea que ciertas imágenes de los textos científicos tienen la finalidad de ilustrar la composición y el comportamiento de sistemas empíricos puntuales, según los lineamientos de las teorías que dan cuenta de ellos. Así, dichos pictogramas cumplen el papel de formulaciones icónicas de las teorías en cuestión. Pero Méndez no deja las cosas allí, lo dicho le sirve de plataforma para desarrollar la idea principal de su trabajo, a saber: la literatura científica también ofrece modelos gráficos que parecen ubicarse en una suerte de zona intermedia entre la teoría y el dato. Revelan una estructura profunda, subyacente al objeto de estudio, pero es difícil sostener que sean formulaciones icónicas de una teoría determinada, en buena medida porque esta última aún no está disponible para ese contexto y problemática particular.

Méndez desarrolla estas ideas mediante una estrategia doble: 1) primero caracteriza la noción de teoría científica, con base en ciertos elementos claves de la *concepción estructural de las teorías empíricas*, pues esta escuela se ha destacado por la forma rigurosa y detallada de plantear el asunto; 2) luego presenta dos esquematizaciones tomadas de la biología, una de las cuales se acopla bien a los lineamientos de la citada escuela estructuralista, mientras que la otra sólo cumple con algunos de ellos.

El primer ejemplo se refiere a la genética y le sirve al autor para mostrar una imagen que recrea la estructura conceptual de

una teoría particular. Méndez expone un sencillo diagrama de Punnett y señala cómo es que la genética mendeliana (en realidad, una especialización de ella, la dominancia completa con relación 1 a 1 entre genes y características) está incrustada en esa ilustración. Aquí, Méndez destaca los elementos representativos de los términos que introduce la genética («gen», «genotipo»), los que son previos a ella («gameto», «progenitores», «hijos», etc.) y cómo el diagrama articula todos los componentes para expresar la ley fundamental de la genética.

El segundo ejemplo (al que está dedicada la mayor parte del artículo) proviene de la ecología de comunidades y se presenta aquí con el fin de ofrecer una muestra de esa zona intermedia entre teoría y dato, antes mencionada. Se trata de lo que la literatura ecológica designa con los nombres de «coenoespacio» o «ecotopo». A grandes rasgos, es una representación gráfica de la estructura comunitaria, que se compone de un plano o hiperplano surcado por gradientes ambientales, sobre el cual despunta una colección de superficies de respuesta, indicativas de los comportamientos de las poblaciones que conforman a la comunidad biótica en cuestión. Méndez brinda una explicación detallada al respecto, ofrece diversos ejemplares y nos cuenta un poco de la historia de esta concepción. Además, pone de relieve que la noción de coenoespacio no introduce términos propios —términos coenoespacio-teóricos, en la jerga estructuralista—, ni parece prefigurar una ley fundamental, cosas que suelen hacer las teorías empíricas. Sin embargo, el esquema presenta ciertos atributos que asemejan el comportamiento de tales teorías, a saber: la conformación de clases variantes, esto es, de tipos de coenoespacios, los cuales esbozan algo parecido a especializaciones de una concepción general; el servir de marco conceptual para investigaciones futuras; el poner de relieve nuevas propiedades del objeto de estudio (caso concreto, la diversidad beta que mide la tasa de recambio poblacional a lo largo de gradientes ambientales).

De lo que se puede estar seguro es que los coenoespacios de la literatura ecológica constituyen sistemas de datos, pero de datos ya muy pulidos y procesados. Méndez termina su artículo sosteniendo que las sucesivas incrustaciones de los registros en formatos de mayor riqueza estructural, desde los apuntes iniciales, pasando por la confección de tabulados sintéticos, reajustes y calibraciones de dichas tablas, hasta llegar a intricadas configu-

raciones de datos idealizados, parecen generar objetos que transitan hacia el dominio de lo teórico.

Abrir los ojos en epistemología

El trabajo de Mario Casanueva constituye un texto programático acerca de la importancia del uso de imágenes en la transmisión del conocimiento. Para el autor, aunque este uso de las imágenes ha estado presente desde el paleolítico, somos la primera generación que cuenta con los recursos necesarios para hacerlo extensivo a gran escala. Como introducción a su propuesta, Casanueva se centra en cuatro proyectos de la modernidad en los que se destaca el uso de las imágenes:

I) Una propuesta de escritura universal creada por Leibniz y denominada *Characteristica Universalis*. Proyecto verdaderamente ambicioso que tenía entre uno de sus objetivos representar directamente los pensamientos. De él se destacan las siguientes notas relevantes: *a*) su carácter ideográfico o pasigráfico; al representar conceptos más que palabras se torna en un lenguaje universal; *b*) su forma de construcción de sentencias mediante la combinación de elementos simples; lo que, para decirlo en los términos de Leibniz, le permitiría incluir «al mismo tiempo las artes del descubrimiento y del juicio» pues sus signos y caracteres servirían «al mismo propósito que los signos aritméticos sirven para los números, y los signos algebraicos para las cantidades consideradas abstractamente».

II) El *Orbis Sensualium Pictus* de Comenius. Se trata del primer libro de texto ilustrado. Editado de suyo en edición bilingüe, estaba dedicado a la enseñanza del latín y rápidamente fue traducido a más de ocho lenguas europeas. El libro, como lo anuncia el subtítulo (*Imágenes y nomenclatura de todo lo fundamental del mundo de las cosas y de la vida activa*) es una especie de mini enciclopedia temática del saber popular que incluye desde los mitos cristianos del origen del hombre y del universo, hasta la caracterización de una serie de virtudes morales, pasando entre otros por la teoría cosmológica de los cuatro elementos, algunas taxonomías naturales, las partes del cuerpo humano, numerosas artes y oficios, algunas técnicas de estudio, etc. Cada tema se presenta

por medio de una lámina ilustrada que incluye números que refieren al texto en latín y en alguna otra lengua europea. De esta manera los lenguajes se vinculan por medio de ilustraciones.

III) El proyecto denominado «Sistema internacional para la educación tipográfica visual», creado por Neurath. El sistema constituía un código icónico para la creación de narrativas visuales dedicadas a la transmisión de información y conocimiento sobre objetos, procesos y relaciones. Aunque el sistema no alcanzó los resultados esperados, su influencia todavía se hace sentir (vg. la señalización internacional de aeropuertos o las líneas de metro de la Ciudad de México).

IV) Finalmente, Casanueva resalta algunas notas de dos enfoques semánticos en filosofía de la ciencia (las tesis de Bas van Fraassen y las de la concepción estructuralista de las teorías empíricas). Casanueva destaca la noción de modelo; las distintas posibilidades de representar los modelos y el carácter modular de los modelos teóricos, junto con las potencialidades de análisis epistemológico asociadas a ello.

A continuación, Casanueva introduce su propia propuesta a la que denomina «grafos representacionales». Sus ideas centrales son: i) postular un modelo es postular la existencia de un conjunto de entidades (objetos o sistemas) y distintas relaciones entre ellos; y ii) si las entidades se sustituyen por puntos o íconos y las relaciones por flechas, la estructura conceptual del modelo puede representarse mediante un grafo o un pictograma. A modo de ilustración, Casanueva presenta el grafo de la estructura conceptual de la genética mendeliana y el de la teoría cromosómica de la herencia. En el ínterin señala cuatro ventajas de este tipo de representación: i) el permitir una diferenciación, mediante el uso de flechas de distintos colores, de los variados papeles epistémicos jugados por los conceptos de una teoría; ii) el admitir distintos niveles de profundidad en el análisis; iii) el posibilitar una integración de los múltiples vínculos entre los modelos científicos; y iv) el servir como herramienta de cálculo y demostración.

Ubicado en una óptica a la que cabría identificar de trans-disciplinaria, el artículo de Víctor Rodríguez nos presenta una gran sinfonía de campos de conocimiento, todos ellos orbitando en torno a las imágenes. El tema principal son las simulaciones, de las simulaciones computacionales a la matemática que les subyace.

El ejercicio de la simulación dota a la ciencia de nuevas herramientas y se constituye en un campo de estudio por sí mismo. El autor no duda en militar porque la ciencia de la computación sea aceptada dentro de la familia de las ciencias.

Con anterioridad a las computadoras, los cómputos fueron herramientas de simulación que empleaban aproximaciones numéricas, geométricas y algebraicas. A lo largo de la historia, distintas representaciones han servido de herramientas de cálculo. Y a decir del físico Richard Feynman, creador de los diagramas que llevan su nombre, mismos que, en buena medida le valieron el Nobel y sirven de herramientas de cálculo, cuando un cálculo es suficientemente robusto, puede transformarse en un nuevo descubrimiento.

En el ámbito de la computación, en particular en el campo de la búsqueda de patrones y la resolución de problemas en sistemas expertos, hay ejercicios de taxonomías que pueden tener un enorme potencial heurístico a la hora de establecer una taxonomía para los distintos modos de tratar las imágenes. Los modelos de simulación admiten varias tipologías: según incorporen o no el factor tiempo; según diferentes tipos de causalidad o de ontología; incluso se ha intentado usar los criterios de Samuelson, originalmente pensados para clasificar a la teorías económicas (Pereyra y Rodríguez 2004), para establecer tipologías sobre las simulaciones.

El tratamiento computacional de las imágenes depende en buena medida de los enfoques adoptados sobre la computación, ya sea como un concepto funcional; o como prácticas de manipulación y transformación de símbolos, en particular, como procesamiento físico de símbolos; o como un asunto regido por reglas. La construcción de los mecanismos de detección, análisis y procesamiento de la información está fuertemente asociada al enfoque.

Rodríguez nos recuerda que, en los humanos, la noción de imagen está ligada a la percepción, en tanto que, en las máquinas, a la recepción de señales. Y más adelante, indica que en el campo de las imágenes existe una gradación de abstracción conceptual que abarca desde enfoques *naive* hasta enfoques topológicos sofisticados (en algún lugar intermedio se ubican los diagramas, esquemas y representaciones geométricas).

«La computación —escribe Rodríguez— está aportando a la investigación en diversas áreas en relación con las imágenes: el

reconocimiento de formas, la localización de objetos, el análisis de las escenas, la inspección visual automatizada, entre otros. Los campos de investigación de la visión de máquinas, y su vecino del reconocimiento de patrones, están incorporando muchos resultados provenientes de áreas no destinadas originalmente al procesamiento de imágenes.»

Se han desarrollado varias técnicas matemáticas dirigidas al tratamiento de las imágenes, en ellas el término «imagen» es utilizado de diferentes modos, pero todos contribuyen a la mejor comprensión del tema, a la vez que enriquecen las aplicaciones. Sólo a título de ejemplo, dentro de los temas citados por Rodríguez se encuentran: el empaquetamiento y el cubrimiento, el ensamblado de formas, la teoría de Ramsey de identificación de patrones en distribuciones aleatorias, la geometría estocástica, métodos topológicos, intersecciones geométricas, algoritmos aleatorizados, el reconocimiento de patrones, las gráficas computacionales, el dibujo de gráficos, la robótica, el análisis y la transformación de imágenes.

Para concluir, recordemos que un primer giro mentalista se llevó a cabo en la civilización occidental cuando el sentido de la vista fue privilegiado a través de la hegemonía de la pintura y la escritura, por encima de otros géneros de expresión como la música y la danza. Sin embargo, ese primer divorcio del intelecto con respecto al cuerpo, de los sentidos abstractos sobre la sensibilidad motriz y táctil, no dejaba de preservar una jerarquía interna en el primero. La expresión proposicional, lingüística, era asociada a la objetividad y al rigor epistemológico. Las imágenes, en cambio, eran el lenguaje del poeta, del loco y de la masa. «La masa —escribe Freud al abordar la teoría de Le Bon sobre la psicología de las multitudes— es extraordinariamente influenciable y crédula; es acrítica, lo improbable no existe para ella. Piensa por imágenes que se evocan asociativamente unas a otras, tal como sobrevienen al individuo en los estados de libre fantaseo; ninguna instancia racional mide su acuerdo con la realidad» (1921, p. 74). Lo que caracteriza al giro pictórico es, precisamente, que las imágenes se han convertido paulatinamente en un elemento esencial del lenguaje del científico. Ya no sólo en la geometría sino en todas las disciplinas. Las propiedades que les atribuía el texto de Freud se han invertido: las simulaciones gráficas por computadora y los diagramas científicos pueden llegar

a conducirnos a alcanzar niveles muy altos de abstracción intelectual; las gráficas en estadística pueden expresar críticamente sus limitaciones (tamaños de las muestras, márgenes de error); el que piensa con ayuda de las imágenes puede reconocer relaciones lógicas de unas con otras. En vez de conformar el libre fantaseo, las imágenes sirven hoy para justificar, explicar y constituir las formas de conocimiento más sólidas.

Referencias bibliográficas

BOURDIEU, P. (1999 [1997]), *Meditaciones pascalianas*, Anagrama, Barcelona.

CARNAP, R. (1928), *Der Logische Auf bau der Welt*. Traducción castellana: *La construcción lógica del mundo*, México, UNAM, 1988.

FREUD, S. (1976 [1921]), «Psicología de las masas y análisis del yo», en *Obras completas* XVIII, Buenos Aires, Amorrortu Editores.

MESNARD, J. (1994), «Point de vue et perspective dans les Pensées de Pascal», en *Courrier du Centre International Blaise Pascal*, 16, 3-8.

NEURATH, O. (1936), *International Picture Language*. Reimpresión: Londres, University of Reading, Department of Typography & Graphic Communication, 1980.

PANOFSKY, E. (1927), *Die Perspektive als «symbolische Form»*. Trad. inglesa: *Perspective as symbolic form*, Nueva York, Zone Books, 1997.

— (1954), *Galileo as a Critic of the Arts*, La Haya, Martinus Nijhoff.

PASCAL, B. (1670), *Pensées*, Fragmento 55 edición Sellier, París, Librairie Générale Française. Traducción de Bernardo Bolaños.

PEREYRA, Z. y V. RODRÍGUEZ (2004), «Hacia una clasificación de las simulaciones computacionales», en P. García y P. Morey (eds.), *Epistemología e Historia de la Ciencias*, vol. 10, n.º 10, FF y H-UNC, Córdoba (Argentina).

LA GEOMETRÍA PASCALIANA: HEREDERA DE LAS IDEAS DE LOS PINTORES DEL RENACIMIENTO

Gabriela Frías Villegas
UNAM, México

Blaise Pascal es considerado como uno de los más grandes matemáticos de la Edad Moderna. A los dieciséis años publicó una de las obras más importantes de la geometría: el *Tratado sobre las cónicas*. Además de matemático, Pascal fue filósofo, inventor y teólogo. Es interesante observar que, aunque los temas privilegiados de sus escritos filosóficos son el problema de la existencia de Dios y la condición humana, la concepción del universo que Pascal sugiere en ellos tiene una fuerte influencia geométrica. En particular, menciona constantemente uno de los conceptos más importantes de la geometría proyectiva: el infinito.

Pascal aprendió acerca del infinito y de las sorprendentes propiedades de la geometría proyectiva del creador de esta área, el matemático francés Gérard Desargues, a quién conoció en las reuniones del grupo de matemáticos parisinos agrupados en torno a Marin Mersenne, amigo de su padre. En estas reuniones, Desargues parece haberle transmitido al joven Pascal lo que había aprendido de los estudios sobre la perspectiva de los pintores del Renacimiento y la manera en la que los formalizó para crear una nueva geometría.

En este trabajo hablaré de los estudios sobre la perspectiva de los pintores renacentistas y la manera en la que sirvieron de inspiración para la creación de la geometría proyectiva. Después hablaré de su descubridor, Desargues, y de su alumno más importante, Pascal, quien no sólo contribuyó al avance de la geometría proyectiva, sino que hizo varias aportaciones a la filosofía que estaban influenciadas por su pensamiento geométrico. A partir de esto, espero mostrar que la geometría pascaliana fue

una heredera directa de las ideas sobre la perspectiva de los pintores del Renacimiento.

El origen de la perspectiva

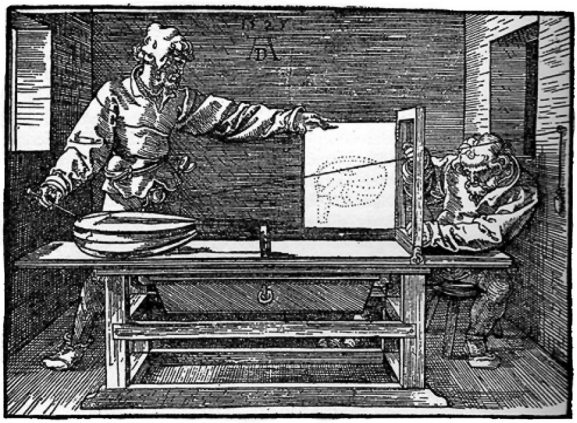
Es un hecho comúnmente aceptado que la noción de *perspectiva* tiene su origen histórico en las pinturas del Renacimiento, en particular en la obra de Leone Battista Alberti (1404-1472), pues éste y otros creadores estaban interesados en representar la naturaleza de una manera realista. Así, mientras que en las pinturas medievales se representaban los temas religiosos de una manera simbólica, los personajes principales solían aparecer inmersos en un ambiente dorado y las figuras coexistían en un plano,[1] los pintores del Renacimiento querían representar al mundo y a sus habitantes, tratando de imitar sus colores y formas reales. Entre otras cosas, los artistas renacentistas como Rafael, Alberto Durero y Leonardo da Vinci, estaban interesados en pintar el mundo tridimensional, en un lienzo plano. De acuerdo con Morris Kline, la manera en la que lo lograron fue la siguiente:

> La clave de la representación tridimensional estaba en lo que se conoce como principio de proyección y sección. Lo que se ve en una escena particular depende, desde luego, de la posición del observador. El pintor renacentista supuso, además, que miraba con un solo ojo. Esta simplificación no es trivial, y se admite hasta cierto punto, ya que un ojo ve sólo una escena lisa o bidimensional. Obtenemos la percepción en profundidad, cuando nuestra mente compara las sensaciones recibidas por ambos ojos, contemplando cada uno la escena desde una posición ligeramente distinta. Sin embargo, una persona mirando con un solo ojo una escena familiar, obtiene una impresión correcta, porque su mente interpreta la sensación puramente visual. A pesar de la simplificación introducida por medio de centrar la sensación recibida en un solo ojo, el problema de reproducir una escena sobre la tela es aún enormemente difícil. Por lo tanto el pintor imaginó

1. Un ejemplo del estilo de la pintura medieval europea se puede encontrar en las obras de Simone Martini (1284-1344), uno de los grandes pintores del periodo del *Trecento*, en Italia. En el *Retablo de la Asunción*, que se considera su obra maestra, se puede observar un ángel, hincado frente a una virgen, frente a un fondo dorado. En este cuadro, las figuras se ven planas.

> que un rayo de luz se originaba en cada punto de la escena dirigido al ojo. A la colección de rayos de luz —o, matemáticamente, de líneas convergentes— la llamó proyección. Imaginó entonces que la tela era una pantalla de cristal interpuesta entre la escena y el ojo. La colección de puntos, en donde las líneas de la proyección cortaban la pantalla de cristal, era una «sección» [Kline 1994, p. 218].

Así, para lograr un efecto realista, el pintor tenía que reproducir en su lienzo la sección que aparecía en la pantalla de cristal. Un ejemplo de esta técnica se puede ver en el grabado *El dibujante del laúd*, de Alberto Durero.



El dibujante del laúd, de Alberto Durero

En esta obra, aparece un pintor mostrando cómo se dibuja un laúd, con la ayuda de una pantalla de cristal. En ella, el artista coloca el centro de proyección en la pared, en donde convergen todas las líneas visuales que provienen del laúd y pasan por la pantalla de cristal. Es interesante observar que, para pintar una escena, el artista puede escoger distintos puntos como centros de perspectiva y puede colocar la pantalla de cristal y el lienzo de varias maneras, de forma que un mismo objeto puede tener más de una representación.

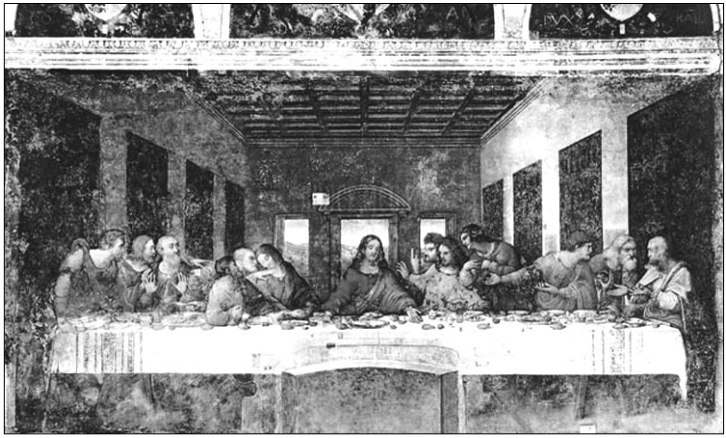
Por otra parte, aunque el procedimiento para plasmar imágenes tridimensionales cuando se tiene un modelo y una panta-

lla de cristal parece relativamente sencillo, los pintores renacentistas tuvieron que idear la manera de dibujar imágenes tridimensionales de aquellos objetos que provenían de su imaginación. Entonces, empezaron a deducir varias reglas prácticas que les indicarían cómo aparecería una escena ficticia, en una pantalla de cristal imaginaria, para poder trasladarla al lienzo. Algunas de estas reglas resultaron ser importantes para la matemática y los estudiosos de esta área del conocimiento se interesaron en averiguar sus propiedades. A partir de ellas desarrollaron una nueva geometría: la geometría proyectiva.

El nacimiento de la geometría proyectiva

Los matemáticos del Renacimiento empezaron a investigar las distintas maneras en las que se podían representar las figuras geométricas en un lienzo, haciendo experimentos como el siguiente. Supongamos que usamos varias pantallas de cristal, para dibujar la proyección de un cuadrado. Si acomodamos estas pantallas de manera que no sean paralelas, entonces la proyección del cuadrado será distinta en cada pantalla: mientras que en algunas se verá como un cuadrado, en otras parecerá un rombo. Cuando los matemáticos se dieron cuenta de que podían obtener distintas proyecciones de una misma figura, dependiendo del acomodo de la pantalla de cristal que usaran, se interesaron en encontrar las propiedades que todas ellas podrían tener en común. Una de las propiedades que observaron es que en el cuadrado que usaban como modelo, las líneas de sus lados eran paralelas dos a dos. Sin embargo, en las proyecciones, un par de lados opuestos, o ambos, dejaban de ser paralelos. El efecto que observaron los matemáticos de que las líneas que eran paralelas en un objeto real dejaban de serlo en el lienzo del pintor, también sucedía en las pinturas más complejas, por ejemplo, si uno observa las vigas del techo de *La última cena* de Leonardo da Vinci, es claro que no son paralelas, sino que se encuentran en un punto.

A partir de los estudios de obras como ésta, los matemáticos concluyeron que aunque cambiaran de posición la pantalla de cristal usada para hacer la proyección, había ciertas propiedades que siempre se conservaban:



La última cena de Leonardo da Vinci

• Si una línea es recta en el modelo, seguirá siéndolo en la proyección sobre la pantalla de cristal.

• Un triángulo en el modelo seguirá siéndolo en la proyección sobre la pantalla de cristal.

Basándose en estas propiedades, los matemáticos caracterizaron a un nuevo tipo de geometría, a la que llamaron «proyectiva», por medio de las siguientes condiciones:

• Dos puntos definen una única recta.

• Todo par de rectas se corta en un único punto. Si dos rectas son paralelas, entonces se considera que se encuentran en el infinito (o, como se llama en matemáticas, en el «punto al infinito»).

En un principio, las consecuencias matemáticas de estas propiedades se entendían muy poco y, para comprenderlas mejor, se necesitaba de un conocimiento mucho más profundo que el que lograron los pintores renacentistas. El primero en proporcionar tal conocimiento fue Gérard Desargues.[2] La intención de Desargues era ayudar a los artistas y a los arquitectos a usar la

2. Gérard Desargues (1591-1661) fue un arquitecto, ingeniero y matemático francés, que se considera uno de los padres fundadores de la geometría proyectiva.

perspectiva. Para hacerlo, inventó una terminología especial y tradujo los resultados prácticos de los pintores italianos al lenguaje matemático. Su aportación principal dentro de esta área de las matemáticas se conoce como el Teorema de Desargues (ver Apéndice I). Aunque Desargues fue el primer matemático profesional en formalizar el conocimiento acerca de la perspectiva, Blaise Pascal lo llevó a un nivel mayor de sofisticación.

Los estudios geométricos de Blaise Pascal

Blaise Pascal nació en 1623, en Clermont, Francia. Su padre, Etienne Pascal, era un miembro prominente de la clase de abogados y oficiales del gobierno, la llamada *noblesse de robe*, además de humanista interesado en el estudio del griego y del latín, y uno de los matemáticos más importantes de su época. Su hijo, Blaise, que estuvo interesado en las matemáticas desde pequeño y en la historia hagiográfica de la ciencia, es uno de los ejemplos paradigmáticos del «niño genio» (los biógrafos de la época le atribuyen, por ejemplo, el haber probado el Teorema de Pitágoras de manera autónoma a los 11 años). Su padre no había querido que aprendiera matemáticas siendo tan joven, por miedo a que descuidara sus estudios de griego y latín, pero al ver su entusiasmo, lo ayudó a aprender sobre el tema. A los doce años, Blaise había aprendido los teoremas más importantes de la geometría griega y era capaz de leer a Euclides. Un historiador tan competente como Alexandre Koyré, gran destructor de mitos, comenta al respecto del aprendizaje del matemático, en su libro *Estudios de la historia del pensamiento científico*:

> Podemos admitir sin temor a equivocarnos, que Pascal no se detuvo en Euclides y que desde su juventud adquirió este profundo conocimiento de la geometría griega, de Arquímedes, Apolonio, Pappus, que se manifiesta en su obra, precisamente en su demostración de la parábola y de la espiral, lo cual es tanto más probable cuanto que su padre, Etienne Pascal, era un buen conocedor de esta geometría. De la geometría griega pasó a Desargues [Koyré 2007, p. 353].

Así, Pascal, ya versado en el estudio de la geometría griega, conoció a Desargues en una de las reuniones del círculo de ma-

temáticos parisinos, grupo que a la muerte de Mersenne se convertiría en la *Celeberrimae Matheseos Academiae Parisiensi*. Se cree que Desargues pasó algún tiempo explicándole sus conocimientos al joven. La influencia arguesiana en el pensamiento de Pascal es evidente en la obra que publicó en forma de *affiche* en 1640: *Essai pour les coniques.* En este ensayo, Pascal, con apenas dieciséis años, presentó la figura que ahora se conoce como el «hexagrama místico de Pascal» y el Teorema de Pascal, que muestra una de las propiedades de dicha figura. Este Teorema es uno de los más importantes de la geometría proyectiva y se deduce directamente del Teorema de Desargues (ver Apéndice II). De acuerdo con Koyré, en este sentido «Pascal es un discípulo y un continuador de Desargues [...] Pascal es Desargues más claridad y sistematización» (Koyré 2007, p. 355). Así, mientras Desargues fue el creador de una nueva forma de geometría, Pascal la sistematizó. Por otra parte, es interesante observar que la influencia de las ideas de Desargues y de la geometría proyectiva en las obras de Pascal no solamente se puede encontrar en sus tratados matemáticos, sino también en sus obras filosóficas.

La influencia de la geometría en la filosofía de Pascal

Muchos historiadores de las matemáticas concuerdan en que podemos identificar dos tipos de «espíritu matemático»: el de los geómetras y el de los algebristas. De acuerdo con Koyré, los primeros «tienen el don de ver en el espacio "poniendo en tensión su imaginación" —como dice Leibniz—, los que son capaces de trazar en él una multitud de líneas y ver, sin confundirlas, sus analogías y relaciones». En cambio, los segundos, «encuentran este esfuerzo de imaginación, todo esfuerzo de imaginación, fatigoso, y prefieren la pureza diáfana de las fórmulas algebraicas» (Koyré 2007, p. 352). Sin lugar a dudas, Pascal pertenecía al primer grupo, pues en sus textos se puede encontrar una marcada intuición geométrica y un desagrado por las ecuaciones.

Esto se puede observar en su obra *De l'esprit géométrique*, que se considera su mayor aportación a la filosofía de las matemáticas. En este ensayo, Pascal analiza qué procedimientos se deben llevar a cabo para convencer a alguien de que una creen-

cia acerca del mundo natural es verdadera. Él sostiene que el procedimiento adecuado consiste en encontrar conexiones entre aquella creencia que se propone como verdadera y los principios (que ya habían sido aceptados por aquel al que quiere convencer) de los que dicha creencia depende. Sin embargo, Pascal señala que hay pocos principios verdaderos, aparte de los principios geométricos, con los que siempre estemos de acuerdo y, por lo tanto, en los que podamos basar nuestros razonamientos.

Este método es claramente fundacionista, aunque Pascal reconoce que los principios básicos pueden variar de una persona a otra. De acuerdo con Desmond M. Clarke, en su ensayo *Pascal's philosophy of science*, «es claro que estas reglas metodológicas son más adecuadas para la geometría tradicional que para otras disciplinas que se puedan beneficiar de un espíritu geométrico, en un sentido más amplio del término» (Clarke 2003, p. 104). Efectivamente, si se requiere que los principios que justifican la demostración de una creencia sean verdaderos de una manera «universal», para considerarla conocimiento, entonces, muy pocas cosas pueden considerarse como conocimiento, aparte de la geometría. De acuerdo con Pascal, los geómetras son los únicos que pueden encontrar un conocimiento genuino: «"La" méthode de ne point errer est recherchée de tout le monde. Les logiciens font profession d'y conduire, les géomètres seuls y arrivent, et, hors de leur science et de ce qui l'imite, il n'y a point de véritables démonstrations» (Pascal 1985, p. 94).

Esta idea también se refleja en su obra *Pensées*. El contenido de esta última consiste en las notas sueltas que Pascal iba acumulando para escribir una apología del cristianismo. En este texto, que tiene una clara influencia del pensamiento de Montaigne,[3] Pascal discute distintos temas tales como la divinidad, la naturaleza y la dicotomía cartesiana del cuerpo y el alma. Además, en él aparece el famoso «argumento de la apuesta», en el que explica que es mejor apostar a que Dios existe, a apostar que no existe.

---

3. Montaigne (1533-1592) fue uno de los escritores que influenciaron más el pensamiento francés del Renacimiento. Entre otras cosas, Montaigne popularizó al ensayo como un género literario y se hizo famoso por su habilidad de mezclar especulaciones intelectuales serias con anécdotas casuales y autobiográficas. Su obra más importante, *Ensayos,* influenció varias de las discusiones de Pascal en su obra *Pensées*.

Al igual que en *De l'esprit géométrique*, en *Pensées* podemos encontrar la influencia de la geometría en el pensamiento filosófico de Pascal, por ejemplo, en su discusión sobre la «desproporción del hombre», en la que el matemático retoma la pregunta que ya había considerado Copérnico: ¿tiene el universo material un centro? Pascal sugiere la siguiente respuesta:

> Contemple el hombre, pues, la naturaleza entera en su elevada y plena majestad, aparte su vista de los objetos bajos que la circundan. Contemple esta resplandeciente luz colocada como una lámpara eterna para alumbrar el universo, que la Tierra le parezca como un punto rodeado por la vasta órbita que este astro describe y que se asombre de esta vasta órbita no es a su vez sino una fina punta respecto de la que abrazan los astros que ruedan por el firmamento. Pero si nuestra vista se detiene aquí, que la imaginación vaya más allá; antes se cansará ella de concebir que la naturaleza de suministrar. Todo este mundo visible no es sino un rasgo imperceptible en el amplio seno de la naturaleza. No hay idea alguna que se aproxime a ella. Podemos dilatar cuanto queramos nuestras concepciones allende los espacios imaginables, no alumbramos sino átomos, a costa de la realidad de las cosas. Es una esfera cuyo centro se halla por doquier y cuya circunferencia no se encuentra en ninguna parte. Finalmente, es la más grata nota sensible de la omnipotencia divina el que nuestra imaginación se pierda en este pensamiento [Pascal 2004, p. 27].

Pascal tiene una imagen sumamente geométrica de la naturaleza, pues la concibe como una esfera en la que el centro está en todas partes. Esta imagen se puede ver como un eco a algunas de las figuras que se pueden construir en la geometría proyectiva, pues es posible considerar al punto al infinito como su centro. Además, en matemáticas se puede pensar el punto al infinito como uno que está en todas partes, pues en él se encuentran todas las rectas paralelas del plano proyectivo.

La influencia de la geometría proyectiva en el pensamiento de Pascal también se puede observar en su interés por el concepto del infinito, que es crucial para las construcciones en esta geometría y que usa en *Pensées* para mostrar la pequeñez del hombre respecto al universo:

> Voy a pintarle, no solamente el universo visible, sino la inmensidad concebible de la naturaleza, en el recinto de este compendio

> de átomos. Que vea en él una infinidad de universos, cada uno con su firmamento, sus planetas, su tierra, en la misma proporción que en el mundo visible, en esta tierra, animales y finalmente cirrones, en los cuáles encontrará lo que han dado los anteriores; y al encontrar todavía en los otros la misma cosa sin fin y sin reposo, que se pierda en estas maravillas, tan pasmosas en su pequeñez como lo son las otras por su extensión: porque ¿quién no se admirará de que nuestro cuerpo, que antes no era perceptible en el universo, imperceptible en el seno del todo, sea ahora un coloso, un mundo, o más bien un todo respecto de esa nada a que no se puede llegar? Quien se considere de esta suerte, se aterrará a sí mismo, y considerándose sostenido en la masa que la naturaleza le ha otorgado, entre estos dos abismos del infinito y de la nada, temblará ante la visión de estas maravillas y creo que su curiosidad se trocará en admiración y estará más dispuesto a contemplarlas en silencio que a investigarlas con presunción. Porque, finalmente ¿qué es el hombre en la naturaleza? Una nada frente al infinito, un todo frente a la nada, un medio entre nada y todo. Infinitamente alejado de comprender los extremos, el fin de las cosas y su principio le están invenciblemente ocultos en un secreto impenetrable, igualmente capaz de ver la nada de donde ha sido sacado y el infinito en el que se haya sumido [Pascal 2004, p. 28].

De este modo, Pascal contrasta el carácter infinito del universo y, por ende de Dios, con la pequeñez del hombre. Haciendo una analogía con las figuras del espacio proyectivo, pareciera entonces que el hombre está en el centro de una recta, cuyos extremos se extienden de manera infinita. Por lo tanto estos extremos se encuentran infinitamente alejados del hombre, quién no los puede comprender.

Así, Pascal muestra una y otra vez que su concepción del universo, de Dios, de la naturaleza y del hombre está sumamente influenciada por sus estudios de geometría, en particular de la geometría proyectiva, que le permite «visualizar» el infinito y comparar lo inconmensurable con lo limitado.

Conclusiones

Como discutimos anteriormente, los pintores renacentistas tuvieron que idear maneras de representar a la naturaleza de una manera más realista. Entre otras cosas, querían encontrar

la mejor manera de plasmar un paisaje tridimensional en un lienzo plano. Entonces, poco a poco encontraron maneras de hacerlo, primero con una pantalla de cristal que les ayudaba a proyectar la figura y después usando reglas matemáticas que les ayudaban a organizar sus pinturas.

En uno de los encuentros más interesantes entre el arte y las matemáticas, Desargues se interesó en los estudios sobre perspectiva de los pintores de su época y los formalizó y extendió. De esta manera, encontró resultados que no solamente ayudaron a los pintores y arquitectos a realizar sus obras, sino que al hacerlo creó una nueva geometría, la geometría proyectiva, en la que el infinito juega un papel crucial. Mientras que en la geometría euclideana las rectas paralelas nunca se cortan, en la geometría proyectiva se encuentran en un punto, llamado «punto al infinito».

El resultado más importante de Desargues, que es el teorema que lleva su nombre, presenta a dos triángulos en perspectiva, en un modelo que nos recuerda a los artistas renacentistas y a la manera en la que empezaron a hacer proyecciones de objetos tridimensionales, en una pantalla de cristal.

Este teorema fue el antecedente directo del teorema de Pascal, uno de los más sorprendentes de la geometría proyectiva, que inspiró a varios matemáticos a estudiar la figura del hexagrama místico. Las ideas sobre la perspectiva y el infinito, no solamente influenciaron los estudios de geometría de Pascal, sino que también su filosofía. Así, Pascal concebía al Universo como un lugar infinito, en forma de esfera. Esta concepción resulta muy similar a las figuras geométricas que se estudian en geometría proyectiva. De este modo, hemos recorrido un camino que nos lleva directamente del arte renacentista, a los estudios de geometría y filosofía de Blaise Pascal.

APÉNDICE I
EL TEOREMA DE DESARGUES

Supongamos que tenemos dos pantallas de cristal, que no son paralelas, donde proyectamos un mismo triángulo, como lo muestra la figura I.

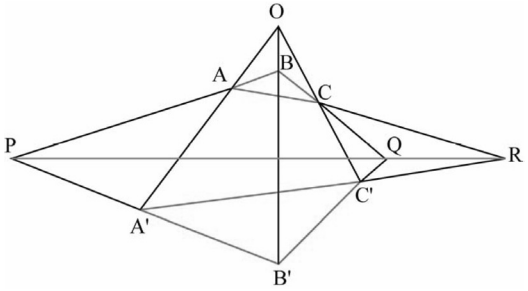


FIGURA I

El centro de proyección para este triángulo es el punto D, y en cada «pantalla» de cristal obtenemos un triángulo (ABC y A'B'C'). Desargues se percató de lo siguiente: si prolongamos los lados correspondientes de cada triángulo en las proyecciones, éstos se encuentran en un punto. Por ejemplo, el lado AC se encuentra con el lado A'C' en el punto G. Pero eso sucede con cada par de lados correspondientes: CB y C'B' se encuentran en el punto E, mientras que AB y A'B' se encuentran en el punto F. Además, los puntos G, F y E están sobre la misma línea recta. Desargues se dio cuenta que esto mismo sucedía para cualquiera dos proyecciones de un triángulo o, lo que es lo mismo, para cualquiera dos triángulos en perspectiva. Este resultado se conoce como «Teorema de Desargues».

APÉNDICE II
EL TEOREMA DE PASCAL

En su tratado *Sobre las cónicas*, Pascal llamó la atención de los geómetras a la figura que ahora se conoce como «El hexagrama místico de Pascal». La construcción de esta figura consiste en tomar cualquier figura cónica (un círculo, una elipse, una hipérbola o una parábola) en un espacio proyectivo (es decir, uno en el que se admita que las rectas paralelas se intersecten en el punto al infinito). Se toman seis puntos cualquiera en dicha cónica y se les da un orden, llamándolos A, B, C, D, E y F, respectivamente. Entonces, se forma un hexágono con ellos, como se muestra a continuación (véase figura II).

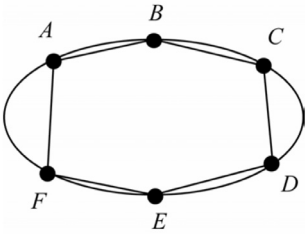


FIGURA II. Un hexágono determinado por seis puntos en una cónica

El Teorema de Pascal habla sobre las propiedades de esta figura. De acuerdo con él, si prolongamos los lados opuestos de este hexágono (por ejemplo el lado AF y el lado CD), éstos se intersectarán en un punto. Si hacemos esto con cada par de lados opuestos (AF y CD; BA y ED; BC y FE), cada par se intersecta en un punto, así que obtenemos tres puntos, que llamaremos P, Q y R. El Teorema de Pascal dice que estos tres puntos se encuentran en una misma línea recta. Esto se puede observar en la figura siguiente, pues una línea recta pasa por ellos tres (véase figura III).

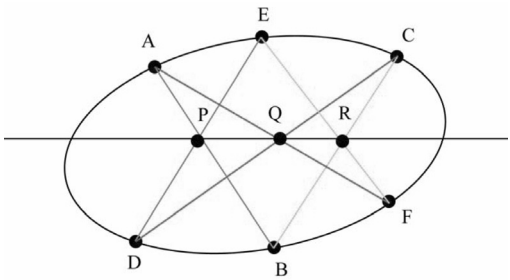


FIGURA III. Teorema de Pascal

Este resultado es sumamente interesante, porque las intersecciones de los lados opuestos del hexágono están alineadas, sin importar qué cónica se escoja o qué puntos se escojan en esa cónica.

La recta que está determinada por los puntos P, Q y R se llama *recta de Pascal* y es posible formar 60 de ellas dependiendo del orden que se les dé a los seis puntos que se tomaron inicial-

mente en la cónica. Éste es un resultado matemático en el que la geometría proyectiva se une a la combinatoria.

La figura del hexagrama místico, entonces, empieza con seis puntos, a partir de los cuales se construyen 60 rectas de Pascal. Esas rectas tienen varias propiedades interesantes que fueron encontradas, poco a poco, por distintos matemáticos, por ejemplo, por el Reverendo Thomas Penyngton Kirkman (1806-1895), Sir Arthur Cayley (1821-1895) y George Solomon (1819-1904). Una construcción completa de esta figura se puede consultar en la página: http://www.math.uregina.ca/~fisher/Norma/index.html

La razón por la que sabemos que el Teorema de Pascal siempre se cumple para cualquier cónica es por su demostración, que se deduce directamente del Teorema de Desargues, sin embargo, por cuestiones de espacio no me es posible incluir la prueba.

Referencias bibliográficas

BOYLE, N. (1982), «Pascal, Montaigne, and J.-C.: The Centre of the Pensées», en *Journal of European Studies,* disponible en internet http://jes.sagepub.com

CLARKE, D. (2003), «Pascal's Philosophy of Science», en Nicolas Hammond (ed.), *The Cambridge Companion to Pascal*, Cambridge University Press, Cambridge.

FRÍAS VILLEGAS, G. (2000), *Un estudio combinatorio del hexagrama místico de Pascal,* tesis para optar por el título de Matemática, UNAM.

HAMMOND, N. (ed.) (2003), *The Cambridge Companion to Pascal*, Cambridge University Press, Cambridge.

KLINE, M. (1994), «Geometría proyectiva», en J. Newman, *Sigma: el mundo de las matemáticas*, Grijalbo, Barcelona.

KOYRÉ, A. (2007), *Estudios de historia del pensamiento científico*, Siglo Veintiuno, Madrid.

PASCAL, B. (1985), *De l'esprit géométrique,* Flammarion, París.

— (2004), *Pensamientos*, Alianza Editorial, Madrid.

LA ILUSTRACIÓN CIENTÍFICA Y EL ENGAÑO DE LOS SENTIDOS*

Susana Gómez
Universidad Complutense de Madrid

Ante lo desconocido, lo nuevo, ante las cosas sin palabras o ante la confusión lingüística para indicar las cosas, una alternativa prometedora es pintarlas. Este recurso tan cotidiano también tuvo su lugar en la historia de la ciencia. Como los niños que se enfrentan a un nuevo mundo de objetos antes de tener un lenguaje y ensayan sus primeros dibujos, la infancia de la ciencia moderna, allá por los siglos XVI y XVII, tuvo como uno de sus rasgos característicos el recurso a la representación figurativa. Hablaba Alexander Koyré del paso de «un mundo cerrado a un universo infinito», como uno de los elementos claves de la Revolución Científica de los siglos XVI y XVII. La bóveda de las estrellas fijas que contenía la totalidad del mundo se quebró como consecuencia de propuestas filosóficas y observaciones de nuevos astros, nuevos fenómenos celestes, nuevas estrellas nunca vistas hasta entonces. Al tiempo que estallaba la bóveda celeste de las estrellas fijas, también en el mundo terrestre estallaban los límites de lo conocido. Los incipientes viajes cósmicos a nuevos mundos celestes que la literatura de la época empezaba a crear eran una transposición de los viajes oceánicos que acababan de descubrir nuevos mundos en la Tierra. Nuevos mundos llenos de plantas, animales, fenómenos meteorológicos y hasta razas nunca antes observadas. Seres naturales que ni habían sido vistos por ser humano alguno ni estaban recogidos en el mundo

* Este trabajo ha sido realizado en el marco del Proyecto de Investigación «Disciplinas, saberes y prácticas científicas en la España moderna (ss. XV-XVII): Producción y circulación del conocimiento y estudios comparados» del Ministerio Español de Educación y Ciencia (HUM 2006-13011-CO2-01).

de los textos clásicos. Seres y cosas para los que no había palabras ni conceptos. Y también, al mismo tiempo que se descubrían nuevos seres visibles en espacios celestes o terrestres hasta entonces inexplorados, se hacían visibles nuevos y pequeñísimos seres en los mundos más cercanos. Una sencilla composición de lentes llamada microscopio permitía ver extraños y desconocidos seres vivos allí donde sólo se veían líquidos homogéneos, curiosas formas geométricas o rugosidades allí donde el ojo humano sólo veía superficies lisas. Los límites de la visibilidad, en suma, también se rompieron como se rompió la bóveda de las estrellas fijas o los límites de las tierras conocidas. Cómo transmitir el conocimiento de lo absolutamente nuevo, de las cosas para las que no había palabras, no fue empresa fácil. Proliferaron las analogías con lo ya conocido, las minuciosas descripciones verbales, tan detalladas a veces como confusas. Y ante la insuficiencia de las palabras, se decidió pintar las cosas.

En estos últimos años la historia de la ciencia ha realizado un gran esfuerzo por entender las imágenes científicas, por captar su uso y su significado, por sacarlas del terreno de lo puramente ornamental que las narrativas tradicionales de la Revolución Científica les habían asignado.[1] Sin embargo, aún sigue pesando algo que siempre me ha hecho sospechar y tener cierto recelo. Me refiero a la afirmación según la cual las ilustraciones científicas, especialmente aquellas de características más naturalistas fueron un resultado de las tendencias empiristas y, sobre todo, uno de los principales motores de una ciencia que pretendía reflejar la realidad, los hechos, tal como eran, alejándose de la palabrería de la tradición, del mundo textual en el que el conocimiento de la naturaleza se había movido hasta entonces. Incluso autores declaradamente contrarios a las narrativas positivistas de la ciencia son herederos explícitos de esta interpretación, que en buena medida —tiendo a pensar— no es más que un

1. En los últimos años la ilustración científica se ha convertido en uno de los principales temas de estudio de la Historia de la Ciencia y la bibliografía es extensísima. Cito aquí sólo algunas de las obras más representativas sobre la ilustración científica de los siglos XVI y XVII en las que se encontrarán referencias más completas: Alpers (1983); Baigrie (1996); Dommann (2004); Ellenius (1985); Galison, Jones y Slaton (1998); M. Kemp (1998); Kusukawa y Maclean (1992); Mazzolini (1993); Olmi, Tongiorgi Tomasi y Zanca (2000); Pyle (2000); Shirley y Hoeniger (1985); Smith (2006); Topper (1990).

reflejo de la propia retórica sobre el uso de las imágenes como copias fieles de la realidad que se hizo en los siglos XVI y XVII. Sin pretender negar de forma rotunda que la ilustración científica, tal como fue forjándose a partir del siglo XVI, constituyese una poderosa herramienta científica para transmitir el conocimiento de las cosas y representar la naturaleza, lo que a mí me interesa es indagar en los obstáculos conceptuales y materiales que las imágenes tuvieron que afrontar para poder ser aceptadas como válidos instrumentos de representación de la naturaleza. Batalla ésta que se libró al mismo tiempo que se encendían los debates acerca de las vías del conocimiento humano, de sus límites, del valor de la imaginación, de la fantasía o de las relaciones de las cosas con el lenguaje y de éste con el pensamiento.

Ya en 1966 Foucault, en *Las palabras y las cosas*, caracterizó el nacimiento de la modernidad en el siglo XVII como el ingreso en la época de la representación: el momento en el que se pasó de una época dominada por la creencia en la identidad entre los signos y lo representado a una época dominada por la sensación de ruptura, de alejamiento y de diferencia entre los signos y las cosas que significan. Nacía, en el siglo XVII, el moderno concepto de representación, según el cual para que una cosa represente a otra ha de ser diferente a ella. A no representa a A. A es A o es idéntico a A. A sólo puede representar a B.[2] Y, por lo tanto, el problema es cómo se decide que una cosa representa a otra que es diferente de ella, qué relación liga una con otra, si esa relación es natural o convencional, etc. Las intuiciones filosóficas de

---

2. Es obligado citar en este sentido a Goodman (1976, en especial el capítulo 1). Como en el caso de la ilustración científica, el problema de la representación se ha convertido en los últimos años en uno de los ejes de la Historia y la Filosofía de la Ciencia. Las nociones de similitud, semejanza y la construcción de modelos han dado lugar a una extensísima bibliografía imposible de citar aquí. Hago sólo una selección de obras representativas de diferentes enfoques: Clarke y Henderson (2002); Giere (1996, 1999 y 2002); Gómez López (2005); Mitchell (1974); Ibarra y Mormann (1997 y 2000); Lynch y Woolgar (1990); Magnani, Nersessian y Thagard (1999); Mason (1998); Nersessian (1988); Peterson (1996); Pitt (1981); Shanon (1993); Stafford (1996); Topper (1996). No debe olvidarse que muchas de las más importantes contribuciones al estudio de la representación provienen del campo de la teoría del arte, donde las obras de Panofksky y Gombrich han marcado dos diferentes vías de interpretación de la representación visual y sus relaciones con la teoría del conocimiento (véase E. Panofsky 1970 y 1991 así como E.H. Gombrich 1968 y 1974).

Foucault —así lo han reconocido algunos historiadores de la ciencia— iban por buen camino. En efecto, entre los siglos XVI y XVII se produjo el paso de una inicial y eufórica confianza en la capacidad de los medios humanos de representación de la naturaleza a una fase de desconfianza acerca de las capacidades y validez mismas de los medios humanos de representación y transmisión de la forma y naturaleza de las cosas. El siglo XVI se inauguró con una gran crítica a las formas en que el mundo había sido representado durante siglos, con una demoledora batalla contra un saber degenerado y corrompido que se había alejado de las cosas mismas. Pero esa batalla no iba dirigida contra la posibilidad misma de representar con el lenguaje o las imágenes las cosas mismas, sino contra un lenguaje y unas imágenes que habían olvidado su relación de identidad con el mundo. Se podía y se debía volver al buen camino, se podía restaurar el auténtico conocimiento, aquel conocimiento adámico del mundo en el que las palabras coincidían con las cosas mismas, en el que las palabras reflejaban la auténtica naturaleza de las cosas. Neoplatónicos, humanistas y filólogos protagonizaron aquella batalla en busca de una identidad perdida (sobre este tema, véase Bono 1995).[3] El siglo XVII, en cambio, se abrió ya con un gran sentimiento de crisis acerca de la posibilidad misma de los modos de representación para captar la naturaleza de las cosas. La historia de la ciencia no fue ajena a aquella transformación. Es más, fue uno de sus motores. Pero una reconstrucción positivista y triunfalista de los orígenes de la ciencia moderna ha simplificado en exceso ese deseo baconiano de restablecer el «matrimonio con las cosas» mismas; ha olvidado sus llamadas de atención contra los engaños de los sentidos, su desconfianza ante la posibilidad de un lenguaje natural y su recelo ante las historias naturales abundantes en representaciones figurativas. Esa historia positivista ha olvidado el fracaso que sintieron algunos de los mayores defensores de un proyecto de historia natural que reflejase la naturaleza en cada uno de sus detalles, tal como era, sin prejuicios, sin análisis, sin diferencias, sin asociaciones. El sentimiento de

3. El tema del retorno a un lenguaje adámico en el que palabras y cosas coincidiesen (que constituye otro apartado del estudio que estoy realizando) quedó reflejado en las utopías de la época (véase Marrone 2004; Aarsleff 1982; Benjamin, Cantor y Christie 1987).

fracaso de quienes para evitar que las preconcepciones manchasen la verdadera naturaleza de las cosas decidieron pintarlas.[4]

Creo que ahora que ha pasado casi medio siglo desde que Foucault publicase su obra, los trabajos que se han hecho en Historia de la Ciencia han preparado el terreno para que se pueda replantear el problema desde perspectivas mucho más ricas en cuanto a contenidos, materiales y enfoques.

La ilustración científica y el espejo de la naturaleza

La escasa confianza en las imágenes como medio para transmitir un conocimiento verdadero de las cosas era secular, y el éxito de la ilustración científica en los siglos XVI y XVII no acabó con ella. Pero sí la reformuló y aportó nuevas respuestas. Famoso es el «pictura fallax est» de Plinio, o la crítica de Platón a una representación figurativa que necesariamente es engañosa, pues sólo se pintan las apariencias, y no la realidad de las cosas, que es invisible y sólo puede ser captada por el intelecto. O el rechazo de Galeno a las imágenes porque distraen de lo que verdaderamente importa.[5] Pero precisamente —y paradójicamente— en el momento de auge del

4. Frente a la generalizada idea de que los defensores de la ciencia moderna en el periodo que media entre los siglos XVI y XVII apoyaron el recurso a la ilustración científica, Baroncini (1996) ha subrayado los grandes recelos filosóficos que en ese periodo se manifestaron contra la ilustración científica. Este sentimiento de fracaso que siguió al gran proyecto de realizar un catálogo visual del mundo natural ha quedado bien ejemplificado en el trabajo de Freedberg (2002). Algunos de los obstáculos que hicieron desconfiar de la ilustración científica han sido destacados por Pardo Tomás (2006), quien insiste en la dificultad de reunir información completa y fiable para reconstruir figurativamente las criaturas del mundo natural a partir de descripciones verbales o de restos materiales parciales.

5. Sobre este rechazo de las imágenes como forma idónea de conocimiento y representación de la naturaleza hasta el siglo XVI véase Panofsky (1984). Cf. también Grünberg-Dröge (1998). Este rechazo filosófico no ha de confundirse con la ausencia de la representación pictórica en la ciencia medieval que fue muy abundante en tres campos: *a*) el ligado a la geometría, que abarcó especialmente la astronomía y la óptica matemática, *b*) el vinculado a los herbarios y bestiarios y *c*) los estudios anatómicos que, contrariamente a lo que muchas veces se dice, tuvieron un rico aparato figurativo durante el periodo medieval (el más reciente trabajo sobre ilustración científica en la Edad Media es Obrist 2004; cf. también J. Murdoch 1984).

neoplatonismo y de recuperación de la *Historia Natural* de Plinio, en el siglo XVI, se vivió un sentimiento de optimismo y confianza en el poder de las imágenes para imitar la realidad y sustituir al mundo tal como es. Sentimientos que tuvieron su paralelo en el optimismo vivido respecto al lenguaje. Si un esfuerzo filológico podía restaurar el auténtico significado de las palabras, su identidad con las cosas, y con ellas el auténtico conocimiento del mundo, el esfuerzo por describir miméticamente las cosas del mundo natural por medio de las imágenes podía igualmente llevar al conocimiento de la realidad. Un siglo más tarde, la quiebra de esa fe en la identidad natural entre las palabras y las cosas coincidirá tanto con la búsqueda de lenguas convencionales como con la conciencia del distanciamiento entre las imágenes científicas y el mundo natural a que se refieren. Una quiebra que estuvo íntimamente ligada al nacimiento del moderno concepto de representación científica.

La idea de un arte que imita fielmente la naturaleza, la concepción de una imitación pictórica tan perfecta que hace que el espectador se sienta «engañado» al creer que se encuentra ante la cosa misma, que la cosa está presente ante sus ojos, fue ciertamente una aspiración de los naturalistas del siglo XVI. Coincidían en ello con las propuestas de los teóricos del arte del primer Renacimiento. Su platonismo se refería a los cánones de belleza, a la armonía, pero rechazaron el desprecio platónico de la pintura como forma de conocimiento (cf. Panofsky 1984). Para autores como Romano Alberti, Leonardo da Vinci, Giovanni Paolo Lomazzo, Giovanni Battista Armenini, la imagen figurativa, la pintura, todavía se entiende como una imitación de la realidad, como una copia que, si está realizada según las normas del arte, coincide con las cosas reales. La pintura presenta ante los ojos lo que hay en la naturaleza, coincide con la realidad si el pintor realiza correctamente su arte. La pintura, decía Leonardo, ha de ser igual que un espejo de la naturaleza:

> El espejo es el maestro de los pintores [...] cuando desees saber si tu pintura corresponde a la cosa retratada del natural, coge un espejo y haz que se refleje en él la cosa viva, y compara la cosa reflejada con tu pintura [...] y si coincide tu pintura parecerá también ella cosa natural [Da Vinci 1971 (1270)].[6]

6. En otro lugar, Leonardo escribía que el espíritu del pintor debe ser semejante al espejo que se transforma con el color de los objetos y se llena de

Paolo Lomazzo (1971 [1584]) decía que la pintura es «imitadora y por así decir un símil de la naturaleza misma, cuya cantidad, relieve y color siempre trata de imitar».[7] Alberti afirmaba que «retratar» consiste en hacer presente lo que está ausente, en volver a traer la cosa misma ante los ojos. Representar significa aquí todavía volver a presentar (cf. Alberti 1585). Y Armenini escribía: «Para llegar a la verdadera conclusión, hay que decir que la pintura no es más que imitación, y el pintor no es más que un imitador» (cf. Armenini 1971 [1587], p. 993). Las ideas de estos teóricos del arte no estaban muy alejadas de uno de los mayores defensores de la ilustración en el terreno de la historia natural: Ulissse Aldrovandi, que en su escrito titulado *Modo di esprimere per la pittura tutte le cose dell'universo mondo*, decía que la pintura debe ser una imitadora de las cosas tal como son, que el pintor con su pincel imita las cosas según la naturaleza que les es propia (Aldrovandi 1971 [1550], pp. 923-930).[8] Y en otro de sus escritos hacía una crítica furibunda contra aquellos que

---

todas las semejanzas que hay ante él; el espejo de superficie plana contiene la verdadera pintura en su superficie y la pintura perfectamente ejecutada sobre la superficie de una materia plana es semejante a la superficie de un espejo (Da Vinci 1980 [1651]). Parecidas ideas fueron expuestas por Girolamo Cardamo, en *De subtilitate rerum*, donde afirmaba que las pinturas se prueban ante el espejo (G. Cardamo 1550, p. 90).

7. Estas reflexiones sobre la pintura como mimesis se encuentran también en su *Idea del tempio della pittura*, especialmente en el «Proemio», donde se lee: «Vedendo gli antichi che la natura era dimostratrice di tutte le forme delle cose create, e che ciascuna cosa da sè dimostrava tutto quello che si poteva desiderare di vedere, secondo la qualità sua, s'imaginarono di voler con l'arte imitarla, sì che con meraviglia degl'uomini si vedesse che tanto eglino con l'ingegno et industria loro potevan fare, quanto fa l'istessa natura» (Lomazzo 1971 [1591], p. 985).

8. Destacan en este texto las siguientes palabras: «Se fosse posibile che il pittore avesse cognizione sensata di tutte le cose naturali, le quali cascano sotto la pittura, chiara cosa è che non commetterebbe error veruno, perchè ogni cosa imitarebbe col penello secondo il suo esser naturale, presupponendo però che il pittore sia buonissimo disegnatore, essendo il disegno e la pittura sorelle» (p. 923). Otras importantes consideraciones de Aldrovandi sobre la pintura, su deber de imitar la naturaleza y la absoluta necesidad de pintar las cosas tal como son para conocerlas, se encuentran en su *Discorso naturale*... (Aldrovandi 1980 [*c*.1572]) conservado en la Biblioteca Universitaria de Bolonia y del cual Tugnoli (1980, pp. 173-232) incluye una traducción. En los últimos años se han realizado importantes trabajos sobre Aldrovandi, destacando los de Olmi (1992) y Findlen (1994).

habían infravalorado el poder intelectual de las imágenes considerándolas algo así como los libros para los idiotas, cuando en realidad mucho más habría progresado el conocimiento de la naturaleza si ésta hubiese sido pintada con figuras y no contada con palabras.[9]

No muy lejos de estas declaraciones estaban las palabras de Leonhart Fuchs en su *De historia stirpium commentarii insignes*, 1542: «¿Quién, en sus plenas facultades mentales, condenaría imágenes que son capaces de comunicar información mucho más claramente que las palabras más elocuentes?».[10] O las de Gonzalo Fernández de Oviedo en su *Sumario*: «Papagayos hay

9. Reproduzco algunas de las irónicas palabras de Aldrovandi (1980 [c. 1572], folios 556*a*-557*b*) sobre este tema: «Non è da tacere li pittori ch'hanno illustrata questa cognitione, per havere depinte molte piante, che è impresa difficillima, per la tanta varietà di colori che si ritrovano nelle piante, non solo nelle foglie, ma ancora ne i fiori, frutti e semi. Parimente, ancora, si vede questa varietà di colori negl'animali terrestri, acquatili et aerii —onde si vede che eccellenti in questa sorte di— pittura sono molto lodati. Vediamo noi per la pittura delle piante ancora vivere per fama Cratino, il quale con sue proprie mani depingeva le piante. Et, in verità, non si puol' fare più bella impresa, per venire in cognitione di queste piante et animali diversi, che depingerli vivamente, accioché per quei potiamo venire nella vera cognitione di essi. Volesse Iddio che Aristotele, Theophrasto, Dioscoride, Plinio et tanti altri scrittori antichi celebri havessero depinto in queste historie questa varietà di piante et animali, ché, invero, non penaressemo ad intendere molte cose. Sappiamo al certo, secondo che dicono ancora gli scrittori, che le pitture sono e libri degl'idioti et ignoranti, però, non senza cagione, quei antichi romani, et parimente gli greci, instruivano i loro figliuoli nella pittura, accioché potessero, con l'occasione, tutte le cose degne di memoria et rare, ritrovandosi in lontani paesi, delinearle e pingerle, accioché, ritornati alle loro patrie, potessero mostrarle e communicarle ad altri, et, parimente, esse haverne et goderne il frutto. Habbiamo per l'historie che Cuax, re degl'arabi, depinse egli stesso un' libro de straniere piante et lo mandò a donare a Nerone imperatore per un' presente sopra modo honorevole. Che dirò de Dionisio, di Metrodoro, antichissimi philosophi, che di queste pitture naturali sopra modo si dilettorno? Non voglio già tacere me stes so, che sopra modo di queste pitture varie mi / sono dilettato. E' 'en vero che, per non dare impedimento alli miei studii, ho havuto pittori appresso di me continuamente, che da quattordeci anni in qua non hanno atteso ad altro che alla varietà di piante et animali, per fare compito il mio MICROCOSMO DI NATURA».

10. La obra de Fuchs es uno de los hitos de la ilustración botánica, aunque con frecuencia se ha extravalorado al precio de olvidar la gran cantidad de herbarios ilustrados —manuscritos e impresos— que se produjeron en la época. Sobre este tema, véase Kusukawa (1997 y 2006); Zucchi (2003). Con carácter más general, cf. Arber (1986) y Anderson (1977).

muchos, y de tantas maneras y diversidades, que sería muy larga cosa decirlo, y cosa más apropiada al pincel para darlo a entender, que no la lengua» (cf. Fernández de Oviedo 1526; véase Carrillo Castillo 2004). O los esfuerzos de la romana Academia dei Lincei por hacer un fiel catálogo figurativo de las cosas de la naturaleza, un teatro visual del mundo.[11] Los ejemplos ciertamente no faltan.

La necesidad de realismo, de imitación de la realidad para expresar las cosas tal como son —en particular cuando las descripciones verbales se mostraban insuficientes o defectuosas— quedó especialmente clara en la crítica que los teóricos del arte de la primera mitad del siglo XVI hicieron a lo «grotesco», a aquella tendencia que tanto éxito tendrá en el Manierismo (y de aquí en muchas de las construcciones de lo maravilloso) y que consistía en mezclar elementos rompiendo el orden de la naturaleza. Lo grotesco, lo no realista, eran los «sogni di pittori», y como decía Ulisse Aldrovandi, debía quedar absolutamente al margen de la pintura realizada para transmitir el conocimiento de la naturaleza: «La pintura —escribía— debe ser la imitación de las cosas tal como son, de aquí que los grotescos, por ser quiméricos y fundados sólo en el intelecto, no siendo conformes a la naturaleza, sean refutados por Vitruvio». Y Aldrovandi (1971 [1550], p. 923), confirma esa opinión.[12]

---

11. Sobre la Academia dei Lincei y su proyecto de realizar un teatro visual de la naturaleza, véase Freedberg (2002) y Baldriga (2002).

12. Según Vitruvio, lo «grotesco» era aquello que mezclaba elementos rompiendo el orden real de la naturaleza, lo cual fue una de las características del Manierismo. Ejemplos de pintura grotesca serían algunas de las obras de Rafael o las de Luca Signorelli en la catedral de Orvieto. Puede parecer una paradoja que muchos de los teóricos del arte que defendieron el carácter mimético de la pintura defendieran también lo «grotesco», tal como se lee por ejemplo en algunas páginas de Leonardo da Vinci o de Paolo Lomazzo. Creo que hay que recordar aquí la distinción hecha por Romano Alberti entre imitación «icástica» (la que imita las cosas naturales) e imitación «fantástica» (la que plasma las cosas artificiales y las imaginaciones intelectuales (cfr. Alberti 1971 [1604], p. 1.012). El objetivo mimético quedaría reservado al arte icástico, mientras que los grotescos pertenecen a la imitación fantástica, a la invención intelectual. De hecho, la defensa de lo grotesco en el siglo XVI estuvo unida a la idea de corte hermético de la existencia en la naturaleza de propiedades ocultas, no manifiestas a los sentidos, que sólo el intelecto podía desvelar (véase Chastel 2000). El rechazo de lo grotesco en la ilustración naturalista contrasta con los comentarios, casi un siglo después, de F. Niceron (1683,

La ilustración científica debía ser mimesis, un espejo plano y fiel de la realidad. Si la imagen engañaba, lo hacía exclusivamente en cuanto que ante ella el observador creía encontrarse ante la cosa misma. Era un engaño nacido del realismo, como el simbolizado tantas veces en el siglo XVI por el relato de las uvas pintadas por el griego Zeuxis, tan idénticas a las uvas reales que los gorriones iban a comerlas. La imagen naturalista es la imagen en un espejo plano.[13] Pero como bien recordaba Umberto Eco (1985), las imágenes en un espejo no representan, sólo presentan. La ilustración científica tiene por objeto presentar un sustituto perfecto de los hechos observables. Las colecciones de ilustraciones naturalistas se ofrecen como un teatro visual de la naturaleza donde lo visual prevalece sobre lo verbal. El término «teatro», que responde a una de las metáforas más significativas de la cultura de los siglos XVI y XVII, es el utilizado para dar título a aquellas obras en las que la representación visual es la protagonista. «Teatro» se convierte en sinónimo de visualización. El *Theatrum Anatomicum infinitis locis auctum* (1592) de Caspar Bahuin y su *Pinax theatri botanici* (1596); el *Theatrum botanicum* (1640) de John Parkinson; el *Theatrum plantarum* de Federico Cesi, toda la extensa producción de «teatros de máquinas», el *Theatrum orbis terrarum* (1570) de Abraham Ortelius y muchos otros libros de mapas de la época.[14] Mas también las colecciones y cá-

---

Propos. VII, Corolario 3): «Mi sembra che si possa anche, con ottimi risultati, applicare tutte le proposizioni di questo libro per l'abbellimento delle grotte artificiali, nelle opere di "rocaille", come vengono chiamate, poiché coloro che vi lavorano fanno di solito maschere, "termes", satiri o altre figure grottesche con le conchiglie, servendosi dei loro colori e delle loro forme naturali come meglio conviene; mediane l'uso di queste regole potranno fare ugualmente, con mosaici e conchiglie, delle figure deformi e confuse che non rappresenteranno niente di logico se non viste dal loro punto, simili a quelle della seconda proposizione di questo libro».

13. La relación entre mimesis y espejos, así como la idea de que los espejos «engañan» porque hacen que el observador crea estar ante la cosa misma, se encuentra ya teorizada desde la Antigüedad (cf. Baltrusaitis 1988). Una obra fundamental en los siglos XVI y XVII sobre las características y poderes de simulacro, mimesis y engaño de los espejos fue la de Mirami (1582).

14. El siglo XVI verá un progresivo deslizamiento del término «teatro» al de «anatomía» en los títulos de las obras de historia natural. Este deslizamiento significa el paso del interés por mostrar las apariencias de los seres de la naturaleza a intentar mostrar sus estructuras, a menudo no visibles a simple vista. Está ligado al progresivo interés por clasificar más que por des-

maras de las maravillas del Renacimiento eran teatros del mundo. En ellas se reunían objetos y seres naturales exóticos, extraños y nunca vistos, pero junto a ellos se acumulaban las imágenes de lo que no se podía poseer materialmente. Imágenes y objetos reales se fundían en el mismo teatro de la naturaleza, borrándose los límites entre las imágenes y las cosas mismas.[15] Sin embargo, pese a esta pretensión de presentar un catálogo visual de los hechos no directamente observables, pese a toda la retórica de la mimesis y el reflejo especular, la ilustración científica se enfrentó desde el principio a los obstáculos derivados de su propia naturaleza. Por mucho que la imagen quiera ser un sustituto de la realidad, la imagen es.

El engaño de los ojos y los espejos deformantes

En este terreno, un tema merece ser especialmente destacado: el de la perspectiva. El gran desarrollo de la perspectiva en los siglos XV y XVI ha sido tradicionalmente considerado como uno de los elementos que permitieron mostrar las cosas tal como aparecen a la vista, alcanzando así altas cotas de realismo y por tanto consiguiendo elevar la ilustración científica al rango de sustituto de la realidad.[16] La idea de que las grandes potencialidades de la representación pictórica para reflejar la realidad y contribuir así al desarrollo de las ciencias empíricas se debió en gran medida al gran desarrollo de las técnicas de perspectiva y claroscuro, es un *leitmotiv* en los estudios sobre la ilustración científica en los siglos XVI y XVII. La interpretación nace de los propios autores del siglo XVI, para quienes la perspectiva artificialis (basada en la geometría) imita a la perspectiva natu-

---

cribir. Freedberg (2002) ha subrayado este cambio, apuntando cómo se pasa del «teatro de la naturaleza» al espejo de la razón y no ya de las apariencias recibidas por los sentidos.

15. Las colecciones y museos científicos en los orígenes de la ciencia moderna han sido objeto de numerosos estudios en los últimos años. Destaco aquí: Findlen (1994); Greenblat (1991); Olmi (1992); Smith y Findlen (2002); Beretta (2005); Impey y McGregor (1985) y Lugli (1983).

16. Sobre la perspectiva y los orígenes de la ciencia moderna, véase: Edgerton (1975 y 1991); Gombrich (1968); Kemp (1999); Kusukawa y Maclean (2006); Panofsky (1970 y 1991); Shirley y Hoeniger (1985).

ralis (la visión natural del ojo), de la misma forma que el arte imita a la naturaleza. Sin embargo, pocas veces se tiene en cuenta que fue precisamente el desarrollo de la perspectiva geométrica la que hizo abrir la sospecha de una gran brecha entre la representación pictórica y la naturaleza de las cosas. Ya en el siglo XVI se planteó cómo, mientras el color y la forma de la pintura captaban y reflejaban la auténtica realidad, la perspectiva marcaba la distancia entre la representación y lo representado.[17] Son ejemplares en este sentido las reflexiones de Paolo Lomazzo, cuando comenta cómo si en la pintura se siguiesen las mismas proporciones que tiene la cosa real, se observarían imágenes monstruosas o deformes: «[el pintor] —dice— si quiere ser excelente, ha de tener muy en cuenta que nunca debe dar a la figura su proporción natural, pues sería un grandísimo error» (cf. Lomazzo 1971 [1548], p. 972).[18] Unos años más tar-

17. Para entender esta cuestión es necesario tener presente que teóricos del arte como Lomazzo, defensores de una estética de raíz platónica, conservaban sin embargo una teoría del conocimiento de tipo aristotélico según la cual las propiedades que nosotros acostumbramos a llamar «secundarias», tales como el color, eran las propiedades reales de las cosas. Una pintura con finalidad mimética debía imitar esas formas reales. Por el contrario, las propiedades relativas a la cantidad no eran propiedades esenciales de la naturaleza de las cosas. Se entiende así que la perspectiva, basada en las matemáticas, pueda engañar a los sentidos, pues no se refieren a la auténtica naturaleza de las cosas. El siglo XVII, al reducir las propiedades secundarias a meras apariencias derivadas de la disposición, tamaño y figura de las partes que componen los cuerpos y negarles existencia real, tomará la opción contraria, siendo entonces el conocimiento de los artificios matemáticos el que explique la auténtica realidad que se esconde tras las apariencias de los sentidos. Ya Panofsky subrayó, refiriéndose al siglo XV, cómo la perspectiva fue el comienzo de la ruptura entre el objeto representado y el sujeto representador, que él consideraba el eje de la ciencia moderna. Sin embargo, Panofsky (1984, pp. 49-50) niega que la práctica de la perspectiva tuviera una incidencia directa en la reflexión científica y artística. Para él, en el siglo XV la perspectiva tuvo una finalidad esencialmente práctica.

18. El propio Lomazzo expresa bien la idea de que la similitud se refiere a las cualidades, no a las cantidades: «lo scultore non s'affatica in altro che in fare che la figura abbia l'istessa quantità de la figura naturale, la quale egli imita, e così quello che propriamente fa lo scultore è fare uguale la figura a la naturale; il che non si può dire che sia farla a lei perfettamente simile, perché dicono i filosofi che ne la quantità non si truova propriamente similitudine, ma solamente nella qualità, e per questo egli dà a la figura la propria sembianza, facendola assomigliare al naturale, che è verissima e propriissima-

de, en una carta a Lodovico Cigoli, Galileo Galilei —en línea con los teóricos del arte del siglo XVI— defendía la superioridad de la pintura respecto a la escultura basándose sobre todo en que la pintura puede engañar a la vista creando la sensación de tridimensionalidad allí donde sólo hay un plano y distinguía explícitamente entre el «modo de representación» y las «acciones representadas». Las cosas, decía, son como son, y sólo son de una forma, pero aparecen de «infinitas formas». Los escultores, que no tienen necesidad de usar la perspectiva, imitan las cosas tal como son, los pintores tal como aparecen, y por tanto su excelencia es mayor. Evidentemente, Galileo estaba ya en otro plano intelectual en el que era bien consciente del engaño de las apariencias que reciben los sentidos, de cómo las «infinitas apariencias» de las cosas pueden no coincidir con la realidad. Si la perspectiva «engañaba», era porque sabía jugar bien con las apariencias gracias al conocimiento de la realidad matemática de las cosas. El «engaño» había cobrado un nuevo significado (cfr. Galileo 1612).[19]

Si en los siglos XV y XVI la perspectiva había surgido como la técnica pictórica capaz de engañar al observador con una retórica de la mimesis que le hacía creer que se encontraba ante la realidad, fueron los propios desarrollos de la perspectiva los que llevaron a construir imágenes que eran engañosas en un sentido muy diferente. Imágenes que fueron utilizadas en muchas ocasiones como muestra de la distancia entre las imágenes realistas y la realidad. Me refiero a las anamorfosis, al *trompe l'oeil* (el engaño del ojo) y a los juegos de la catóptrica que tanto ocuparon a

---

mente qualità. Et ancoraché una cosa si dica simile a l'altra quando ha la medesima quantità, si dice però impropriamente, perché, parlando propriamente, ella si ha da chiamare uguale e non simile. Imperoché, come ho detto, la similitudine solamente si truova ne la qualità e lo scultore solo tratta di quantità, ne la quale si truova solamente l'equalità. Ma il pittore nel suo disegno non solamente cerca di dare la quantità giusta e vera a la figura e farla uguale al naturale, come fa lo scultore, ma di più gl'aggiunge la qualità, che è il colore; e dà a la figura la qualità e similitudine, la quale come dissi poco innanzi, non gli può dare lo scultore» (*ibíd*., p. 967).

19. Uno de los primeros trabajos sobre Galileo, la perspectiva y la nueva ciencia fue precisamente Panofsky 1954. El volumen de *Galileana, Journal of Galilean Studies* correspondiente a 2007 publicará las conferencias pronunciadas en el Congreso «La conquista del visibile. Galileo e le arti», celebrado en Pisa en septiembre de 2006. Cfr. Reeves (1997) y Damianaki (2000).

los científicos del siglo XVII.[20] Las metáforas barrocas del engaño de los sentidos, del mundo ilusorio, de los espejos, inundaron la ciencia del siglo. En 1625, P. Accolti publicó *Lo inganno De Gl'occhi, Prospectiva Pratica*, uno de los primeros trabajos en los que se reflexionaba sobre la capacidad de la perspectiva para, en lugar de imitar a la realidad, construir imágenes realistas de cosas que en realidad no existían. Sus grandes sucesores estuvieron especialmente ligados a los desarrollos científicos de la época. Baste recordar a Jean Francois Niceron (1638), el *Ars Magna lucis et umbrae* de Athanasius Kircher, la *Magia universalis naturae et artis* de Gaspar Schott, o los frescos y la falsa cúpula de Sant'Ignazio en Roma realizados por Andrea Pozzo. Es significativo que muchos de estos teóricos de la «perspectiva curiosa» fuesen jesuitas o estuviesen intelectualmente ligados a las doctrinas filosóficas de la Compañía de Jesús.[21] Doctrinalmente —siguiendo las tesis de san Ignacio— los jesuitas consideraban las imágenes como elementos fundamentales en el ejercicio de la fe y en la transmisión de su ideología. Científicamente, la Compañía de Jesús, lejos de oponerse radicalmente a la investigación científica de su tiempo, pretendió hacer de los dos mayores valores de la nueva ciencia los ejes de su ideología. Una particular interpretación de la experiencia y de las matemáticas —y de las conexiones entre ellas— les pareció el mejor camino para oponerse a ciertas ideas de la nueva ciencia aparentando ser ellos los más modernos. En ningún caso se opusieron al valor y la necesidad de la experiencia en la investigación científica y mucho menos al papel prioritario que la vista desempeñaba en el proceso de conocimiento de la naturaleza.[22] Como buenos aristotélicos, no se lo podían permitir. La estrategia filosófica fue insistir en los posibles engaños de una experiencia no regida por una recta razón. Y los jesuitas atribuyeron la guía de esa recta razón a las matemáticas, de cuyo estatus filosófico fueron los mayores defensores en el siglo XVII (cf. Dear

---

20. Sobre anamorfosis y ciencia véase: J. Baltrusaitis (2004); De Rosa y D'Acunto (2002); Ikegami (2000); Leeman, Elfers y Schuyt (1976); Trucci (1976); Bessot (1992).

21. Sobre las relaciones entre la ideología jesuítica y su uso de la imagen véase Jaffe, Wittkower, Akerman *et al.* (2003). Fundamentales en este sentido son las reflexiones de M. Kemp (1998*b*).

22. Sobre el papel de la visión en el proceso de conocimiento científico, véase: Lindberg y Steneck (1972); Hamou (1999 y 2001); Pomian (1998).

1995). Sus grandes obras de perspectiva, especialmente centradas en la catóptrica —la ciencia de los espejos— estaban destinadas a demostrar cómo cualquier atento observador puede ser engañado por su propia experiencia si no conoce los fundamentos de las matemáticas. Estos propósitos racionalistas, este interés por las matemáticas, pueden parecer contradictorios con la gran atención que los propios jesuitas dedicaron a la magia natural en el siglo XVII. Sin embargo, la contradicción desaparece si nos fijamos en su propia terminología para referirse a la perspectiva geométrica y la ciencia de los espejos: *magia artificialis*. Si la magia natural consistía en producir efectos maravillosos a través del conocimiento de las causas naturales y de su intervención en ellas, la magia artificial, la perspectiva, entendida como arte que imita la visión natural, podía producir efectos maravillosos entendiendo y manipulando sus fundamentos, que no eran otros sino las matemáticas. La óptica había sido uno de los principales terrenos de estudio de los magos naturales. Los jesuitas la hicieron suya uniéndola al racionalismo matemático.[23]

Así, la idea del espejo como fiel reflejo de la realidad que hemos visto utilizada por Leonardo da Vinci, fue contestada en el siglo XVII por la idea del espejo deformante, como se veía ya en la obra de Salomon de Caus (1612) y como será ampliamente teorizado por Descartes, que consideraba las anamorfosis como un excelente caso para meditar sobre el engaño de los sentidos. La figura de la anamorfosis permitía a Descartes desacreditar el papel desempeñado por la visión natural y sustituirla por los constructos conceptuales matemático-geométricos.

Sería erróneo, sin embargo, pensar que estas reflexiones sobre los engaños de los sentidos desembocaron en un rechazo de la ilus-

---

23. Esta defensa de la perspectiva como *magia artificialis* se encuentra explícitamente defendida en Niceron (1638, «Prefacio al lector», folios 24-25). El propio Niceron hace referencia a Giovanni Battista Della Porta, que había sido uno de los principales protagonistas del estudio de la óptica en el campo de la magia natural y que así escribía: «La Magia contiene en sí la ciencia de la naturaleza de los ojos, llamada óptica, cómo a veces el ojo engaña en las apariencias, como sucede con agua lejana, los espejos de forma esférica, abombados, cóncavos, planos y de otras diferentes formas; de cuyo conocimiento depende bastante la Magia natural» (Della Porta 1560, cap. 2). Referencias similares a las relaciones entre catóptrica y magia artificial se encuentran en Kircher (1646, pp. 810-915), que habla de la «magia catóptrica o prodigiosa representación de las cosas mediante espejos», o en Schott (1657).

tración científica para representar la realidad. Los propios jesuitas fueron los grandes protagonistas y autores de algunas de las más bellas obras ilustradas del siglo XVII. Las obras de Descartes, en especial sus *Principia*, tienen un riquísimo aparato figurativo. En lugar de un rechazo de la ilustración científica, el engaño de los sentidos llevó a tomar conciencia de que la ilustración no era pura mimesis, sino una forma de representación en el sentido moderno del término, una forma humana de expresión radicalmente separada de la naturaleza misma. La pérdida de esa identidad estaba compensada por la ventaja de poder usar la ilustración figurativa con una rica gama de objetivos, propósitos y matices. Tomemos el ejemplo de la cuestión de las manchas solares. Es sabido que su descubrimiento y la interpretación de su naturaleza motivaron una áspera polémica entre Galileo Galilei y el jesuita Christoph Scheiner. Ambos realizaron ilustraciones de las manchas, pero mientras que Galilei utilizó la perspectiva paralela (como si el ojo estuviese muy lejos del Sol) para demostrar su tesis de que las manchas estaban en la superficie del Sol, Scheiner usó la perspectiva oblicua (como si el ojo estuviese cerca del Sol) para poner de manifiesto unas características de las manchas que apoyaban su tesis de que las manchas no pertenecían al cuerpo solar.[24] El caso de las ilustraciones cartesianas es bien diferente y ha dado mucho que pensar. La geometrización cartesiana de la naturaleza estaba basada en propiedades fundamentalmente visuales —la extensión y la figura— pero esas propiedades se referían a lo que estaba más allá de la vista. La tensión entre el protagonismo de la vista como forma de conocimiento —típico de la geometría— y la referencia a unas propiedades no visibles de las cosas tomó la forma de una visualización de lo invisible.[25]

Visibilidad, visualización y representación

La tan extendida como falaz tradición de dividir el pensamiento del siglo XVII entre racionalistas y empiristas permitiría pensar que este tipo de ideas era propio de los primeros, quienes

---

24. Debo esta información al trabajo de F. Camerota presentado en el Congreso «La conquista del visibile» (véase nota *supra*). Véase también Edgerton (1985); Reeves (1997); Winkler y Van Helden (1992).

25. Sobre Descartes y su uso de la ilustración científica, véase: Baigrie (1996*a*); Judovitz (1993).

se concentraron en el estudio de la físico-matemática y poco o nada tuvieron que ver con el desarrollo de la investigación empírica. Su crítica al posible carácter engañoso de los sentidos y de las imágenes pictóricas dejaría intacta la tesis positivista de que la representación pictórica de la naturaleza y el empirismo fueron de la mano en el desarrollo científico de los siglos XVI y XVII. Mas lo cierto es que las propuestas filosóficas de aquella época, como las de cualquiera, estuvieron lejos de atenerse a esa férrea división según la cual unos racionalistas defendieron el exclusivo derecho de la razón para conocer el mundo negando cualquier papel a los sentidos, mientras que unos empiristas creyeron ciegamente en la validez de los sentidos y redujeron la razón a una acumulación ordenada de la experiencia.

Frente al mito positivista de unos orígenes de la ciencia moderna dominados por la fe en la experiencia, lo cierto es que toda la ciencia del siglo XVII estuvo dominada —como buena parte de la cultura del Barroco— por el escepticismo acerca de la veracidad de lo que nos dicen los sentidos. El propio Francis Bacon, considerado el héroe del empirismo, no dudaba en afirmar que uno de los principales obstáculos que había que derrocar para construir una nueva ciencia eran los ídolos de la tribu, y éstos se referían especialmente a la fe ciega que los humanos depositan en los sentidos:

> Los ídolos de la tribu están fundados en la misma naturaleza humana y en la misma tribu o raza humana. Pues es falso afirmar que el sentido humano es la medida de todas las cosas; muy al contrario: todas las percepciones, tanto las de los sentidos como las de la mente, son por analogía humana y no con el universo. El entendimiento humano es semejante a un espejo que refleja desigualmente los rayos de la naturaleza, pues mezcla su naturaleza con la naturaleza de las cosas, distorsionando y recubriendo a esta última [Bacon 1620, Libro I, aforismo XLI].[26]

26. En el Aforismo L se lee: «Pero el máximo impedimento y la máxima aberración del entendimiento humano proviene, con mucho, del estupor, la incompetencia y el *engaño de los sentidos*, pues todo aquello que afecta al sentido predomina sobre lo que no le afecta inmediatamente, aunque esto último sea más importante. [...] *El sentido es de por sí algo débil y proclive al err*or». Sobre la posibilidad científica de engañar a los sentidos y su condena cuando se trate de una impostura voluntaria, Bacon dice así en su descripción de la Casa de la Sabiduría de la *Nueva Atlántida*: [Tenemos] «Teatros de magia donde se ejecutan los más complicados juegos de manos, apariciones falsas, im-

Los sentidos nos engañan, y para evitarlo han de ser ayudados y corregidos continuamente por la memoria, los instrumentos científicos y la razón. Ahora bien, si las ilustraciones científicas —especialmente las de tema naturalista— aspiraban a ser un sustituto de la experiencia de aquellas cosas vistas con los propios ojos, pero a su vez los sentidos eran engañosos ¿no habría que dudar también de las propias imágenes que decían haber sido copiadas del natural? Bacon, como muchos de sus contemporáneos, estaba bien acostumbrado a ver imágenes de plantas, animales o monstruos que decían ser un fiel retrato de lo visto con los propios ojos pero de cuya real existencia pocos se fiaban (véase Kemp 1998*c*).[27] En otros casos, las representaciones pictóricas de una misma planta o animal realizadas por diferentes autores eran tan diferentes que difícilmente se podía creer que tuviesen el mismo referente.[28] La

---

posturas e ilusiones con sus falacias. Y, como seguramente comprenderéis, ya que tenemos tantas cosas naturales que mueven admiración, podemos en un mundo de singularidades *engañar los sentidos* desfigurando las cosas y esforzándonos en hacerlas más milagrosas. Pero detestamos tanto toda impostura y mentira que bajo pena de ignominia y multas, hemos prohibido estas prácticas a todos nuestros compañeros, para que no se muestre ninguna obra o cosa, falseada ni aumentada, sino sólo en su natural pureza y sin ninguna afectación de maravilla» (Bacon 1627, p. 270; el subrayado es mío).

27. La literatura de la época era rica de libros sobre fenómenos y criaturas naturales exóticas, raras y monstruosas que decían haber sido vistos con los propios ojos. Pero en el siglo XVII se empezó a dudar de la existencia real de esos seres; «ver con los propios ojos» ya no bastaba, de ahí que fuese necesaria toda una maquinaria de estrategias de testimonio y prueba sobre las que la historia de la ciencia ha insistido mucho últimamente.

28. Esta cuestión es muy compleja y sobrepasaría los límites de este trabajo. Entran aquí en juego cuestiones relativas a la reproducción material de las imágenes, las habilidades pictóricas del autor y especialmente las vías de transmisión de los conocimientos con los que se forjaban o reconstruían las imágenes. En muchas ocasiones, a pesar de la retórica de la vista *cum propris oculis*, lo cierto es que las imágenes eran reconstrucciones de seres a partir de noticias fragmentarias o reutilización de planchas de grabados hechas para obras anteriores. Como dice J. Pardo Tomás (2006): «El hecho es que, como bien ilustra este ejemplo, era perfectamente posible que Michiel —o cualquier otro coleccionista o naturalista como él— dispusiese sólo de una muestra acompañada de un nombre, nada más; muestra para la que había que construir una "historia" sólo en la biblioteca, buscando en los escritos de otros e "ilustrando" con palabras aquella imagen y aquel nombre. Muchas veces, al final del proceso, se "inventaba" una criatura completamente diferente de todos los fragmentos de realidad natural, exótica que habían sido reunidos para crearla» (véase también Kusukawa 2006 y Mason 1998).

pluralidad de las representaciones de un mismo objeto parecía decir más del entendimiento de quienes las habían realizado que de la cosa misma, lo cual no hacía sino confirmar los temores de Bacon en su definición de los ídolos de la tribu. Así expresaba su recelo ante las representaciones pictóricas en su Parasceve:

> No sirve de mucho a nuestra empresa esa prolijidad de las historias naturales en cuanto a descripciones y dibujos de numerosas especies, así como con toda su curiosa variedad. Todas esas mezquinas variedades no son sino un juego y un placer de la naturaleza y dicen más de la naturaleza de los individuos. Poseen además una cierta recreación amena y jocosa en las cosas, pero a las ciencias no proporcionan sino una escasa y casi nula información [Bacon 1857-1874, vol. IV, p. 396; véase Baroncini 1996].

Es cierto que Francis Bacon reclamó la necesidad de una observación directa, *cum propris oculis*, pero eso no bastaba, pues si así hubiese sido no se hubiera distanciado mucho de los aristotélicos, para quienes la vista era el principal instrumento de conocimiento del mundo y quienes se fiaban tanto de los sentidos que creían que éstos reflejaban la verdadera naturaleza de las cosas.[29] Para Bacon se había quebrado ya esa identidad entre la naturaleza y las representaciones que nuestra mente tiene de ella. Como dice Lorraine Daston, «la naturaleza se había convertido en lo otro». Podía haber tantas representaciones de una misma cosa como individuos y por tanto la transmisión del conocimiento, ya fuese por medio de la escritura o de la imagen, requería ser controlada, filtrada, ordenada y supervisada. Bacon reflexionó y escribió sobre las características de un lenguaje apto para la nueva ciencia. En cuanto a las imágenes se limitó a ignorarlas cuando no, como hemos visto en la anterior cita, a despreciarlas.

---

29. Sobre el primado de la vista en la filosofía aristotélica, véase Aristóteles (*De anima*, 429*a* 3, *Metaphysica*, 980*a* 24-27); Baroncini (1996) y Merker (2003). Es significativa en este sentido la terminología usada por los griegos, pues el verbo *theorein* significaba primitivamente «ver». Hay que notar también que los actos de «especular», «reflexionar», que estamos acostumbrados a separar de la observación, hacen referencia a las capacidades visuales. En este sentido, véanse los comentarios de Lledó (2005, pp. 27 y ss).

Superar el engaño o las insuficiencias de los sentidos requería una experiencia[30] controlada por la razón y ayudada por los instrumentos y precisamente de estas ayudas nació un tipo de ilustración científica de características peculiares, pues no se trataba ni de una representación de modelos puramente intelectuales —como puedan ser los gráficos de la geometría— ni de copias de lo observado con los propios ojos. Me refiero a las ilustraciones nacidas de las observaciones con el telescopio y el microscopio, que abrieron «nuevos horizontes de visibilidad» (cf. Hamou 1999 y 2000).[31] Estas ilustraciones implicaron serios problemas de realización y dudas acerca de qué estaban representando —incluso la polémica de si representaban algo realmente existente. A pesar de la retórica experimental que insistía en la relación entre visión y verdad, lo cierto es que quienes usaron el telescopio y el microscopio en el siglo XVII, y a partir de sus observaciones realizaron ilustraciones pictóricas, se sintieron obligados a defender su credibilidad. Ejemplares son los casos de Galileo en el caso del telescopio o de Robert Hooke en el caso del microscopio. Este último, tras afirmar que para realizar perfectas ilustraciones sólo se requiere «una mano sincera y un ojo fidedigno para examinar y registrar las cosas mismas tal como se muestran», reconocía que los dibujos no son espejos imparciales de los objetos:

> Las descripciones que siguen a cada uno de los objetos dibujados informarán de qué se trata. Yo sólo añadiré aquí de una vez por todas que en muchos de ellos los grabadores han seguido muy fielmente mis instrucciones y dibujos, así como que al realizarlos he tratado (en la medida de mis posibilidades), primero, de descubrir su verdadero aspecto y, luego, de hacer una clara representación suya. Menciono esto porque es mucho más difícil descubrir la verdadera forma de estos objetos que la de aquellos observables a primera vista, ya que un mismo objeto con una iluminación determinada puede parecer muy distinto de cómo es o de cómo se muestra con otra posición de la luz. Por consiguiente, nunca empiezo a trazar un dibujo hasta que he

30. La distinción entre estos tipos de ilustraciones es fundamental a la hora de tratar la cuestión general de la imagen científica (véase: Kemp 1998*a*, Dupré 2006 y Gómez López 2005).

31. La literatura sobre microscopios y telescopios es muy amplia, en el libro de Hamou se encontrará una buena bibliografía.

> descubierto la forma verdadera, gracias a muchos exámenes con diversas luces, pues en algunos objetos resulta extremadamente difícil distinguir una prominencia de una depresión, una sombra de una mancha negra o un reflejo del color blanco... [Hooke 1665, pp. 147-148].[32]

Es decir, la ilustración pictórica de los objetos vistos a través de las lentes microscópicas difiere de aquellos objetos observables «a primera vista», no es una copia inmediata de la experiencia perceptual, no es un simple espejo de lo visto con los propios ojos, sino una representación mediada por las habilidades, criterios y discernimiento del observador. Hay que decir que ni se trataba de algo completamente nuevo ni de algo específicamente característico del siglo XVII. Ya Leonardo da Vinci —al tiempo que, como hemos visto, defendía que la pintura debía ser un espejo de la naturaleza— había reconocido que sus dibujos anatómicos no eran el resultado de la observación directa de un cuerpo humano, sino el resultado de muchas observaciones en las que el anatomista decidía qué era lo importante. Sus dibujos eran ciertamente el resultado de la experiencia, pero entendida como acumulación ordenada y selectiva de informaciones perceptuales, no de la experiencia inmediata. De aquí que afirmase que se aprende mucho más de una ilustración anatómica —que sintetiza el resultado de una larga experiencia y destaca las cosas importantes a observar— que de una disección directa del cuerpo humano.

Aunque la cuestión de la selección de los rasgos y criterios no era nueva (y reaparecerá con intensidad al hilo del problema de las clasificaciones) lo característico del siglo XVII es que tuvo que defender la credibilidad misma de las ilustraciones derivadas de las observaciones de la naturaleza mediadas por los instrumentos ópticos, una credibilidad que dependía de formas de observación y experiencia nuevas en el panorama científico. Se había abierto un nuevo horizonte de visibilidad y la ciencia del siglo

---

32. Sobre los errores derivados de las apariencias de los sentidos, Hooke (*ibíd*., 122-123) escribía: «De ahí que a menudo tomemos la sombra de las cosas por su sustancia, las pequeñas apariencias por buenas semejanzas y las semejanzas por definiciones. Así pues, incluso muchas de las definiciones que consideramos como más sólidas son más bien expresión de nuestras erróneas aprehensiones de la verdadera naturaleza de las cosas mismas», lo cual estaba en perfecta sintonía con las declaraciones de Bacon citadas más arriba.

XVII tuvo que defender que aquellas ilustraciones correspondían a la realidad del mundo, tuvo que defender que eran representaciones de lo real, pues no estaba nada claro que lo fuesen. Famosas son las burlas que algunos hicieron cuando Galileo presentó sus descubrimientos telescópicos, ante los cuales dijeron que debía de tratarse de frutos de su imaginación. Pues no sería posible ver lo natural a través de lo artificial (por citar sólo una de las críticas). Muchos otros problemas estuvieron ligados a la naturaleza de la representación de las observaciones realizadas con telescopios y microscopios: desde el peso de las preconcepciones acerca de qué es lo observado hasta el uso de analogías con modelos de otras cosas ya conocidas. En el caso de las observaciones telescópicas, los trabajos de Winkler y Van Helden (1992), Edgerton (1985 y 1991) y Reeves (1997) son fundamentales y esclarecedores, si bien se han centrado más en cómo se realizaron aquellas ilustraciones que en el problema mismo de la representación, es decir, de cómo dibujos aparentemente tan diferentes de lo «naturalmente» observado con los ojos podían corresponder al mundo real. La cuestión fue abordada especialmente, ya en el siglo XVII, precisamente por los mismos que habían recurrido tanto a las imágenes engañosas: los jesuitas. Para defender la validez de las observaciones telescópicas y microscópicas y las ilustraciones derivadas de ellas realizaron importantes estudios sobre la fisiología del ojo, intentando demostrar que las lentes de los instrumentos no eran más que copias de la propia estructura y funcionamiento del ojo.[33] Una vez más, el arte imitaba a la naturaleza. Y de la misma forma que los ojos del cuerpo podían engañar si no se conocían bien los fundamentos de las matemáticas que explicaban el engaño de las anamorfosis, los instrumentos ópticos podían también engañar si se desconocían la física y las matemáticas en los que éstos se basaban.

33. Ésta es una argumentación típica de las obras de óptica de los científicos de la Compañía de Jesús en el siglo XVII, como F.M. Grimaldi, H. Fabri, Z. Traber, A, Kircher, G. Schott, E. Maignan o N. Zucchi. Lo mismo había hecho ya Kepler. Ciertamente, el telescopio y el microscopio estimularon una redefinición de la visión, pero no siempre se dio esta relación. A veces, como en el caso de Kepler, sus *Paralipomena* de 1605, en los que se encuentra su estudio de la visión, fue independiente, aunque más tarde, después de los descubrimientos telescópicos de Galileo, realizase la conexión ojo-microscopio (cfr. Hamou 1999 y 2000).

Otro tipo de obstáculo al que tuvieron que enfrentarse las ilustraciones científicas estuvo relacionado con la tensión, típica del siglo XVII, entre el deseo de reflejar fielmente la naturaleza, por un lado, y la necesidad de establecer clasificaciones, por otro. Mientras que se insistía en la necesidad de hacer un catálogo de los hechos naturales y sólo a partir de ellos realizar especulaciones u ordenaciones de los fenómenos y los seres, la proliferación casi infinita de particulares y la ausencia de criterios homogéneos de clasificación a un nivel puramente observacional parecían o bien cerrar el camino a la posibilidad de clasificaciones o sentar las bases para innumerables y diferentes clasificaciones. Más rigurosamente descriptivas y detalladas eran las representaciones pictóricas, más reflejaban una naturaleza desordenada. Pronto fue cundiendo la idea de que las ilustraciones científicas no servían para la clasificación. Abordar esta cuestión requiere tener bien presentes dos elementos:

i) en primer lugar, que el siglo XVII fue pasando cada vez más de la necesidad de la descripción a la necesidad de la clasificación, y este tránsito fue acompañado del progresivo abandono de la posibilidad de ordenar la naturaleza según las meras apariencias y similitudes para afirmar, en cambio, la existencia de un orden de la naturaleza que escapa a la pura experiencia y ha de ser establecido por la razón;

ii) en segundo lugar, no se trataba de una cuestión puramente epistemológica, sino que concernía a la práctica misma de la comunicación científica y a la validez misma de las ilustraciones como medio de comunicación de la información. En ausencia de criterios estándar de clasificación, los diferentes autores de las ilustraciones que decían referirse a un mismo objeto, planta o animal, podían privilegiar un aspecto (por ejemplo en el caso de una planta, su color, su tamaño, su etapa de desarrollo, etc.) y según los criterios elegidos, le harían tener similitudes con unas determinadas plantas y no con otras, lo cual podía dar lugar a tremendas ambigüedades a la hora de su identificación.

Del mismo modo que el siglo XVII perdió la confianza en la posibilidad de encontrar lenguajes naturales cuyas palabras reflejasen el orden del mundo y optó por la elaboración de lenguas artificiales, convencionales pero claras y sin ambigüedades, ese

mismo siglo fue perdiendo también la confianza en la posibilidad de que las colecciones de imágenes miméticas de la naturaleza reflejasen el orden de lo natural y optó por las clasificaciones realizadas según los criterios de la razón humana.[34] Una cosa era coleccionar hechos y describirlos, y otra bien distinta clasificarlos. Y para clasificarlos la ilustración copiada de «lo visto con los propios ojos» era insuficiente. Había que encontrar nuevas formas de representación de la naturaleza, y no sólo de presentación de los objetos y fenómenos del mundo. La representación incluía elementos teóricos e iba dirigida no sólo a los sentidos, sino a la razón.

La evolución de uno de los mayores proyectos de representación visual de la naturaleza llevados a cabo en el siglo XVII es un caso ejemplar de este paso del mostrar, del presentar, al representar. Me refiero a la romana Accademia dei Lincei. La inicial euforia del príncipe Federico Cesi y sus académicos por hacer registros visuales de la naturaleza, pronto derivó en la percepción de los límites y ambigüedades de los registros visuales puramente descriptivos, miméticos, como vía de conocimiento de la naturaleza (cf. Freedberg 2002). Criterios que se habían considerado fundamentales en la representación pictórica, como el color, empezaron a quedar en entredicho ¿Una diferencia de color entre varios ejemplares de plantas con la misma forma quería decir que eran plantas diferentes, especies diferentes? ¿Se podía seguir manteniendo este criterio por parte de quienes cada vez estaban más convencidos de que el color es sólo una cualidad secundaria dependiente de la figura, tamaño y disposición de las partículas invisibles de los cuerpos? ¿No sería entonces mejor diseccionar, anatomizar plantas y animales para indagar su estructura más allá de las apariencias sensibles? Esta progresiva pérdida de confianza de los línceos en el poder de las ilustraciones fielmente descriptivas estuvo íntimamente ligada a su creciente interés en el problema del orden de la naturaleza. Para ellos, la ilustración científica se convirtió en una espada de doble filo: una gran ayuda para la historia natural, pero una gran ayuda que podía llevar a grandes errores. Uno de los miembros más representativos de la Accademia dei Lincei y más volcado en el

34. Sobre la búsqueda de lenguas perfectas y artificiales, véase Eco (2005); Simone (1990); Benjamin y Cantor (1987).

examen de la naturaleza, Fabio Colonna, afirmaba que «los pintores a menudo cometen grandes errores» y ya en el temprano 1606 había escrito una obra que anticipaba los recelos de la Accademia dei Lincei respecto a las imágenes y que llevaba un significativo título: *Ekphrasis* (1606). En esta obra, Colonna mantenía que no sólo es importante la observación personal, sino también la reproducción precisa en la comunicación del conocimiento y los problemas de nomenclatura.

A lo largo del siglo XVII este tipo de obstáculos se fue superando al precio de ir alejándose de la copia mimética de la realidad para pasar a un tipo de ilustración cada vez más cargada teóricamente, donde el autor hacía una mayor selección de rasgos esenciales. Con ilustraciones que gracias a técnicas como la explotación de la imagen en sus diferentes partes (en el caso de las plantas, su semilla, sus hojas, su flor, sus etapas de desarrollo, etc. alrededor del dibujo global de la planta, como si de un zoom se tratase) incluían una serie de informaciones derivadas ya no tanto de la pura observación como de los conocimientos del autor. La ilustración dejaba así de ser una copia que pretendía ser idéntica a la naturaleza, presentarla ante los ojos ajenos, casi sustituirla, para ser una representación de la naturaleza. Una vez más, una cosa era la naturaleza, con sus infinitas formas, y otra era su representación. Siempre teniendo en cuenta que podía haber plurales formas de representación de una misma cosa y que por tanto lo que estaba en juego eran los criterios de representación y no la simple valoración acerca de las habilidades miméticas del ilustrador.[35]

Los éxitos y fracasos de la representación pictórica del mundo natural no acabaron de forma concluyente en el siglo XVII. Ni triunfó definitivamente la representación pictórica cargada teóricamente, ni desapareció del horizonte científico la pretensión de realizar copias fielmente miméticas de la realidad natural.

35. Aún así, no se puede hablar en absoluto de un abandono del objetivo mimético en la historia de la ciencia. Si bien por motivos muy diferentes a los que inspiraron la mimesis en el siglo XVI, el siglo XVIII verá un renacimiento de la polémica entre quienes defendían la ilustración completamente fiel a la naturaleza y quienes defendían una representación figurativa basada en el «ideal de tipos» (cf. Daston y Galison 1992). El nacimiento de la fotografía y la ética de una reproducción mecánica de la naturaleza libre de toda subjetividad volvió a abrir el debate bajo un nuevo prisma (cf. Galison 1998).

Más bien al contrario, a partir de entonces la polémica arreció, como pondrían de manifiesto en el siglo XVIII los defensores de las imágenes científicas basadas en el ideal de tipos o quienes, por el contrario, apostaban por imágenes especulares y detalladas de los casos particulares y concretos (cf. Daston y Galison 1992). Nada tuvieron que ver aquellas polémicas con ser o no defensor del estudio empírico de la naturaleza, sino más bien con la pretensión de comunicar pictóricamente un conocimiento útil y fiable para la investigación científica y con la cuestión acerca de los límites de la experiencia sensible para captar el orden de la naturaleza. Fue el Positivismo de principios del siglo XX, con su insistencia en caracterizar al conocimiento científico como un tipo de saber inductivo cuya base habían de ser los hechos observables puros y sin carga teórica, el responsable de recuperar el ideal renacentista de una representación pictórica entendida como mimesis de la naturaleza, como copia exacta de una experiencia fundacional. Sólo que esta vez, el pincel fiel del artista cedió el lugar al símbolo filosófico de la época: la representación fotográfica. La filosofía de la ciencia acuñó la expresión «hechos fotográficos» para referirse a las observaciones empíricas sobre las que había de fundarse toda teoría. La narrativa positivista de la historia de la ciencia, que consideraba el progreso científico como un camino esencialmente construido por el descubrimiento de nuevos hechos observables, se dejó convencer por la retórica renacentista del ojo fiel a la naturaleza, de la representación pictórica como espejo del mundo natural. De aquí que haya interpretado la explosión de la ilustración científica y naturalista en los siglos XVI y XVII como uno de los éxitos claves de la nueva ciencia moderna, empirista, por supuesto que empezó a gestarse en la época.

El escepticismo ante las imágenes de la naturaleza demostrado por algunos de los mayores defensores de una ciencia empírica pone en cambio de manifiesto que la conexión entre ilustración naturalista y empirismo no fue tan firme. La reflexión sobre el engaño de los sentidos es sólo un capítulo de los obstáculos ante los que se hubo de enfrentar la representación pictórica del mundo natural. Hubo muchos más. Tan interesantes para el historiador de la ciencia como los mejores éxitos de la cultura visual en la ciencia.

Referencias bibliográficas

AARSLEFF, H. (1982), *From Locke to Saussure, Essays on the Study of Language and Intellectual History*, University of Minnesota Press, Minneapolis.

ALBERTI, R. (1971 [1604]), «Origine e progresso dell'Accademia del Dissegno de' pittori, scultori et architetti di Roma» [Pavia 1604], en *Scritti d'arte del Cinquecento*, edición de Paula Barocchi, Ricciardi, Milán-Nápoles.

— (1971 [1585]), *Trattato della Nobiltà della pintura*, L. II, Forni, Roma.

ALDROVANDI, U. (1971 [1550]), «Modo di esprimere per la pittura tutte le cose dell'universo mondo», en *Scritti d'arte del Cinquecento*, vol. I, edición de Paula Barocchi, Ricciardi, Milán-Nápoles, pp. 923-930, 1.057-1.058.

— (1980 [*c.* 1572]), «Discorso naturale di Ulisse Aldrovandi. Nel quale si tratta in generale del suo museo, e delle fatiche da lui usate per raunare de varie parti del mondo, quasi in un Theatro di Natura tutte le cose sublunari, come piante, animali et altre cose minerali», en S. Tugnoli, *Metodo e sistema delle scienze di Ulisse Aldrovandi*, Clueb, Bolonia, pp. 173-232.

ALPERS, S. (1983), *The Art of Describing. Dutch Art in the Seventeenth Century*, University of Chicago Press, Chicago.

ANDERSON, F.J. (1977), *An Illustrated History of the Herbals*, Columbia University Press, Nueva York.

ARBER, A. (1986), *Herbals, Their Origin and Evolution, a Chapter in the History of Botany, 1470-1670*, Cambridge University Press, Cambridge.

ARISTÓTELES (c. 350 aC.), *De anima*, 429*a* 3.

— (c. 350 aC.), *Metaphysica*, 980*a* 24-27.

ARMENINI, G.B. (1971 [1587]), *De' veri precetti della pittura* [Ravena, 1587], en *Scritti d'arte del Cinquecento*, edición de Paula Barocchi, Ricciardi, Milán-Nápoles.

BACON, F. (1857-1874), *The Works of Francis Bacon*, ed. de J. Speding, Londres [facsímil reimp., Stuttgart, 1989].

— (1985 [1620]), *La Gran Restauración*, edición de Miguel A. Granada, Alianza, Madrid.

— (1976 [1627]), *La Nueva Atlántida*, en *Utopías del Renacimiento. Moro-Campanella-Bacon*, FCE, México.

BAIGRIE, B.S. (ed.) (1996), *Picturing Knowledge. Historical and Philosophical Problems Concerning the Use of Art in Science*, University of Toronto Press, Toronto.

— (1996*a*), «Descartes's Scientific Illustrations and "la grande mécanique de la nature"», en B.S. Baigrie (ed.), *Picturing Knowledge. Historical and Philosophical Problems Concerning the Use of Art in Science*, University of Toronto Press, Toronto.

BALDRIGA, I. (2002), *L'occhio della Lince. I primi lincei tra arte, scienza e collezionismo (1603-1630)*, Accademia Nazionale dei Lincei, Roma.
BALTRUSAITIS, J. (1988), *El espejo. Ensayo sobre una leyenda científica*, Miraguano, Madrid (ed. original, 1978).
— (2004), *Anamorfosi, o Thaumaturgus opticos*, Adelphi, Milán.
BARONCINI, G. (1996), «Note sull'illustrazione scientifica», en *Nuncius*, año XI, n.º 2, pp. 527-543.
BENJAMIN, E. y G.N. CANTOR (1987), *The Figural and the Literal. Problems of Language in the History of Science and Philosophy, 1630-1800*, Manchester University Press, Manchester.
BERETTA, M. (ed.) (2005), *From Private to Public. Natural Collections and Museums*, Science History Publications, Sagamore Bach, Ma.
BESSOT, D. (1992), «La perspective de Niceron et ses rapports avec Maignan», en M. Bucciantini y M. Torrini (eds.), *Geometria e atomismo nella scuola galileana,* Olschki, Florencia.
BONO, J.J. (1995), *The Word of God and the Languages of Man. Interpreting Nature in Early Modern Science and Medicine*, Madison University Press, Madison, Wisconsin,
CARDANO, Girolamo (1550), *De subtilitate rerum*, Nuremberg.
CARRILLO CASTILLO, M. (2004), *Naturaleza e Imperio. La representación del mundo natural en la «Historia General y Natural de las Indias de Gonzalo Fernández de Oviedo»*, Doce Calles, Madrid.
CHASTEL, A. (2000), *El grutesco. Ensayo sobre el ornamento sin nombre*, Akal, Madrid.
CLARKE, B. y L. DALRYMPLE HENDERSON (eds.) (2002), *From Energy to Information. Representation in Science and Technology, Art, and Literature*, Stanford University Press, Stanford.
DA VINCI, L. (1971 [c.1500]), *Codex Urbinas Latinus 1270,* en *Scritti d'arte del Cinquecento*, edición de Paula Barochi, Ricciardi, Milán-Nápoles, t. II, pp. 1.265 y ss.
— (1980 [1651]), *Tratado de pintura,* ed. Ángel González, Editora Nacional, Madrid.
DAMIANAKI, C. (2000), *Galileo e le arti figurative*, Vecchiarelli, Roma.
DASTON, L. y P. GALISON (1992), «The Image of Objectivity», en *Representations*, vol. 40, pp. 81-128.
DE CAUS, S. (1612), *La perspective avec la raison des ombres et mirroirs*, Londres.
DE ROSA, A y G. D'ACUNTO (eds.) (2002), *La vertigine dello sguardo. Tre saggi sulla rappresentazione anamorfica*, Libreria Editrice Cafoscarini, Venecia.
DEAR, P. (1995), *Discipline and Experience. The Mathematical Way in the Scientific Revolution*, The University of Chicago Press, Chicago.
DELLA PORTA, G. (1560), *De i miracoli et meravigliosi effetti dalla natura prodotti*, Ludovico Avanzi, Venecia.

DOMMANN, M. (2004), «From Image to Knowledge: A Review of the "Pictorial turn" in the History of Science», en *Gesnerus*, vol. 61, n.º 1-2, pp. 77-89.
DUPRÉ, S. (2006), «Visualization in Renaissance Optics, The Function of Geometrical Diagrams and Pictures in the Transmission of Knowledge», en S. Kusukawa e I. Maclean, *Transmitting Knowledge: Words, Images and Instruments in Early Modern Europe*, Oxford University Press, Oxford, pp. 11-39.
ECO, U. (1985), *Sugli specchi*, Bompiai, Milán.
— (2005), *La búsqueda de la lengua perfecta*, Crítica, Barcelona [1.ª ed. en italiano, 1993].
EDGERTON, S.Y. (1975), *The Renaissance Rediscovery of Linear Perspective*, Basic Books, Nueva York.
— (1985), «Galileo, Florentine "Disegno" and the "Strange Spotedness" of the Moon», en *Art Journal,* vol. 44, pp. 225-248.
— (1991), *The Heritage of Giotto's Geometry. Art and Science on the Eve of the Scientific Revolution*, Cornell University Press, Ithaca, Nueva York.
ELLENIUS, A. (ed.) (1985), *The Natural Sciences and the Arts. Aspects of Interaction from the Renaissance to the Twentieth Century*, Almqvist and Wiksell International, Estocolmo.
FERNÁNDEZ DE OVIEDO, G. (1526), *Sumario de la natural historia de las Indias*, Toledo, 1526.
FINDLEN, P. (1994), *Possessing Nature, Museums, Collecting and Scientific Culture in Early Modern Italy*, University of California Press, Berkeley.
FREEDBERG, D. (2002), *The Eye of the Lynx. Galileo, His Friends, and the Beginnings of Modern Natural History*, The University of Chicago Press, Chicago.
GALILEO (1612), «Carta a Lodovico Cigoli», en *Opere di Galileo Galilei*, vol. XI, carta 713, Barberà, Florencia, 1964-1968.
GALISON, P. (1998), «Judgment against Objectivity», en P. Galison, C.A. Jones y A. Slaton (eds.), *Picturing Science, Producing Art*, Routledge, Nueva York, pp. 327-359.
—, C.A. JONES y A. SLATON (eds.) (1998), *Picturing Science, Producing Art,* Routledge, Nueva York.
GIERE, R.N. (1996), «Visual Models and Scientific Judgement», en B.S. Baigrie, 1996, *Picturing Knowledge. Historical and Philosophical Problems Concerning the Use of Art in Science*, University of Toronto Press, Toronto, pp. 269-302.
— (1999), «Using Models to Represent Reality», en L. Magnani, N.J. Nersessian y P. Thagard 1999, *Model-Based Reasoning in Scientific Discovery*, Kluwer, Nueva York, pp. 227-241.
— (1999*a*), *Science without Laws*, The University of Chicago Press, Chicago.

— (2002), «Models as Parts of Distributed Cognitive Systems», en L. Magnani y N. Nersessian (eds.), *Model-Based Reasoning. Sience, Technology, Values,* Kluwer, Nueva York.
GOMBRICH, E.H. (1968), *Art and Illusion. A Study in the Psychology of Pictorial Representation*, Phaidon Press, Londres.
— (1974), «Standards of Truth. The Arrested Image and the Moving Eye», en W.J.T. Mitchell, *The Language of Images*, The University of Chicago Press, Chicago, pp. 181-218.
GÓMEZ LÓPEZ, S. (2005), «Modelos y representaciones visuales en la ciencia», en *Escritura e Imagen* vol. I, pp. 83-116.
GOODMAN, N. (1976), *Los lenguajes del arte*, Seix Barral, Barcelona.
GREENBLAT, S.J. (1991), *Marvelous Possessions. The Wonder of the New World*, Clarendon Press, Oxford.
GRÜNBERG-DRÖGE, M. (1998), «The Role of Illustrations in Scientific Literature in pre-Cartesian Times», en I. Zinguer y H. Schott (eds.), 1998, *Systémes de pensée precartésiens*, Champion, París, pp. 133-142.
HAMOU, P. (1999 y 2000), *La mutation du visible. Essai sur la portée épistemologique des instruments d'optique au xviie siècle*, 2 vols., Presses Universitaires du Septentrion, París.
HOOKE, R. (1989, [1665]), *Micrografía*, edición de Carlos Solís, Alfaguara, Madrid.
IBARRA, A. y Th. MORMANN (eds.) (1997), *Representaciones en la ciencia*, Ediciones del Bronce, Barcelona.
— (2000), *Variedades de la representación en la ciencia y la filosofía*, Ariel, Barcelona.
IKEGAMI, I. (2000), *Due volti dell'anamorfosi. prospettiva e vanitas*: *Niceron, Pozzo, Holbein e Descartes*, Clueb, Bolonia.
IMPEY, O. y A. MCGREGOR (eds.) (1985), *The Origins of Museums. The Cabinet of Curiosities in Sixteenth and Seventeenth Century Europe*, Claredon Press, Oxford.
JAFFE, I.B., R. WITTKOWER, J.S. AKERMAN, *et al.* (2003), *Architettura e arte dei gesuiti*, Mondadori, Milán.
JUDOVITZ, D. (1993), «Vision, Representation and Technology in Descartes», en D.M. Levin (ed.), *Modernity and the Hegemony of Vision*, University of California Press, Berkeley.
KEMP, M. (1998*a*), «Templi del corpo e templi del cosmo, visione e visualizzazione nella rivoluzione vesaliana e copernicana», en M. Kemp, *Immagine e verità. Per una storia dei rapporti tra arte e scienza*, Il Saggiatore, Milán, pp. 67-103.
— (1998*b*) «Prospectiva e significato, illusione, allusione, collusione», en M. Kemp, *Immagine e verità. Per una storia dei rapporti tra arte e scienza*, Il Saggiatore, Milán, pp. 105-123.
— (1998*c*), «Fidarsi ciecamente, forma e significato nella rappresentazione naturalistica», en M. Kemp, *Immagine e verità. Per una storia dei rapporti tra arte e scienza*, Il Saggiatore, Milán, pp. 153-197.

— (1999), *The Science of Art. Optical Themes in Western Art from Brunelleschi to Seurat*, Yale University Press, New Haven.
KIRCHER, A. (1646), *Ars Magna lucis et umbrae*.
KUSUKAWA, S. (1997), «Leonhard Fuchs on the Importance of Pictures», en *Journal of the History of Ideas*, vol. 58, pp. 403-427.
— (2006), «The Uses of Pictures in the Formation of Learned Knowledge, The Cases of Leonhard Fuchs and Andreas Vesalius», en *Trasnsmitting Knowledge*, Words, Images and Instruments in Early Modern Europe, edición de S. Kusukawa e I. Maclean Oxford University Press, Oxford, pp. 73-96.
— e I. MACLEAN (eds.) (2006), *Transmitting Knowledge: Words, Images and Instruments in Early Modern Europe*, Oxford University Press, Oxford.
LEEMAN, J., F. ELFERS y M. SCHUYT (eds.) (1976), *Hidden Images, Games of Perception, Anamorphic Art, illusion. From the Renaissance to the Present*, Harry Abrams, Nueva York.
LINDBERG, D.C. y N.H. STENECK (1972), «The Sens of Vision and the Origins of Modern Science», en A.G. Debus (ed.), *Science, Medicine and Society. Essays to Honour Walter Pagel*, Heinemann, Londres, vol. I, pp. 29-45.
LLEDÓ, E. (2005), *Elogio de la infelicidad*, Ediciones Cuatro, Madrid.
LOMAZZO, G.P. (1971 [1584]), *Trattato dell'arte della pitura, scoltura et architettura* [Milán, 1584], en *Scritti d'arte del Cinquecento*, edición de Paula Barocchi, Ricciardi, Milán-Nápoles.
— (1971 [1591]), *Idea del tempio della pittura*, [Milán, 1591], en *Scritti d'arte del Cinquecento*, edición de Paula Barocchi, Ricciardi, Milán-Nápoles.
LUGLI, A. (1983), *Naturalia et mirabilia. Il collezionismo enciclopedico nelle Wunderkammern d'Europa*, Mazzotta, Milán.
LYNCH, M. y S. WOOLGAR (eds.) (1990), *Representation in Scientific Practice*, MIT Press, Cambridge, Mass.
MAGNANI, L. y N.J. NERSESSIAN (eds.) (2002), *Model-Based Reasoning. Sience, Technology, Values,* Kluwer, Nueva York.
—, N.J. NERSESSIAN y P. THAGARD (1990), *Model-Based Reasoning in Scientific Discovery*, Kluwer, Nueva York.
MARRONE, C. (2004), *Le lingue utopiche*, Stampa Alternativa & Graffiti, Viterbo.
MASON, P. (1998), *Infelicities. Representations of the Exotic*, The John Hopkins University Press, Baltimore/Londres.
MAZZOLINI, R. (ed.) (1993), *Non-verbal communication in Science prior to 1900*, Olschki, Florencia.
MERKER, A. (2003), *La vision chez Platon et Aristote* (International Olato Studies, 16), Academia Verlag, Sankt Augustin.
MIRAMI, R. (1582), *Compendiosa introduttione alla prima parte della specularia, cioè la scienza degli specchi*, Ferrara.

MITCHELL, W.J.T. (1974), *The Language of Images*, The University of Chicago Press, Chicago.
MURDOCH, J. (1984), *Antiquity and the Middle Ages*, Scribner's, Nueva York.
NERSESSIAN, N.J. (1988), «Reasoning from Imagery and Analogy in Scientific Concept Formation», en *PSA, Proceedings of the Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association*, vol. 1, pp. 41-47.
NICERON, F. (1683), *La perspectiva curieuse, ou magie artificielle des effects mervellieux de l'optique, de la catoptrique e de la dioptrique*, París.
OBRIST, B. (2004), *La cosmologie médiévale. Textes et images.* I. *Les fondemetns antiques* (Micrologus´Library 11), Sismel, Edizioni del Galluzzo, Tavernuzze.
OLMI, G. (1992), *L'inventario del mondo. Catalogazione della natura e luoghi del sapere nella prima età moderna*, Il Mulino, Bolonia.
—, L. TONGIORGI TOMASI y A. ZANCA (2000), *Natura-cultura, l'interpretazione del mondo fisico nei testi e nelle immagini*, Olschki, Florencia.
— y G. PAPAGNO (eds.) (2006), *La natura e il corpo. Studi in memoria di Attilio Zanca*, Olschki, Florencia.
PANOFSKY, E. (1954), *Galileo as a Critic of Arts,* Martinus Nijhof, La Haya.
— (1970), *Meaning in the Visual Arts*, Penguin; Middlesex.
— (1984), *Idea*, Cátedra, Madrid.
— (1991), *La perspectiva como forma simbólica*, Tusquets, Barcelona.
PARDO TOMÁS, J. (2006), «La flora americana nell'erbario di Pier'Antonio Michiel», en G. Olmi y G. Papagno (eds.), *La natura e il corpo. Studi in memoria di Attilio Zanca*, Olschki, Florencia, pp. 73-100.
PETERSON, D. (ed) (1996), *Forms of Representation*, Intellect Books, Exeter.
PITT, J.P. (1981), *Pictures, Images and Conceptual Change*, Reidel, Dordrecht.
POMIAN, K. (1998), «Vision and Cognition», en P. Galison, C.A. Jones y A. Slaton (eds.), *Picturing Science, Producing Art,* Routledge, Nueva York, pp. 211-231.
PYLE, C.M. (2000), «Art as Science, Scientific Illustration, 1490-1670 in Drawing, Woodcut and Copper Plate», en *Endeavour*, vol. 24, n.º 2, pp. 69-75.
REEVES, E. (1997), *Painting the Heavens. Art and Science in the Age of Galileo*, Princeton University Press, Princeton.
SCHOTT, G. (1657), *Magia universalis*, Wurzburg.
SHANON, B. (1993), *The Representational and the Presentational*, Harvester; Hemel Hempstead.
SHIRLEY, J.W y F.D. HOENIGER (eds.) (1985), *Science and the Arts in the Renaissance*, Folger, Washington D.C.
SIMONE, R. (1990), «Seicento e Settecento», en G. Lepschy (ed.), *Storia della lingüística*, vol. 2, Il Mulino, Bolonia.
SMITH, P.H. (2006), «Art, Science, and Visual Culture in Early Modern Europe», en *Isis*, vol. 97, n.º 1, pp. 83-100.

— y P. FINDLEN (eds.) (2002), *Merchants & Marvels, Commerce, Science, and Art in Early Modern Europe*, Routledge, Nueva York.
STAFFORD, M. (1996), *Good Looking, Essays on the Virtue of Images*, MIT Press, Cambridge, Mass.
TOPPER, D.R. (1990), «Natural Science and Visual Art, Reflections on the Interface», en E. Garber (ed.), *Beyond History of Science. Essays in Honor of R. Schofield*, Leigh University Press, Bethlehem, pp. 296-310.
— (1996), «Towards an Epistemology of Scientific Illustration», en B.S. Baigrie (ed.), *Picturing Knowledge. Historical and Philosophical Problems Concerning the Use of Art in Science*, University of Toronto Press, Toronto, pp. 215-249.
TRUCCI, I. (1976), «Le anamorfosi di Jean Francois Niceron all'Istituto e Museo di Storia della Scienza di Firenze», *Annali dell'Istituto e Museo di Storia della Scienza di Firenze*, año 1, fasc. 2.
TUGNOLI, S. (1980), *Metodo e sistema delle scienze di Ulisse Aldrovandi*, Clueb, Bolonia.
WINKLER, M.G. y A. VAN HELDEN (1992), «Representig th Heavens, Galileo's Visual Astronomy», en *Isis*, vol. 83, pp. 195-217.
ZUCCHI, L. (2003), «Brunfels e Fuchs. l'illustrazione botanica quale ritratto della singola pianta o immagine della specie», en *Nuncius*, vol. XVIII, pp. 411-465.

SOBRE LA GEOMETRÍA DEL CONOCIMIENTO: KANT Y CARNAP

Álvaro J. Peláez Cedrés
UAM-Cuajimalpa, México

> Desde las más altas e intelectuales alturas mira hacia las regiones del ser genuino, enseñándonos a través de imágenes las propiedades especiales de los órdenes divinos y los poderes de las formas intelectuales, porque contiene aún las ideas de esos seres dentro de su rango de visión. Aquí nos muestra qué figuras son apropiadas a los dioses, cuáles pertenecen a los seres primordiales y cuáles a la esencia de las almas.
>
> PROCLUS DIADOCHUS, *Comentario sobre el primer libro de los elementos de Euclides*

Introducción

Desde que el pensamiento griego revolucionara el modo de tratar el conocimiento de las formas, y desde su gran sistematización llevada a cabo por Euclides, la geometría estaría destinada a ejercer una influencia profunda en la cultura de Occidente. Suministró a las artes nuevas herramientas para la representación de la realidad; a la ciencia, además de técnicas rigurosas de razonamiento, algunas ideas acerca de la estructura de la realidad y su lenguaje; y a la filosofía no sólo, al igual que a la ciencia, métodos de razonamiento fiables, sino también un modelo de organización intelectual, de la estructura interna del pensamiento, y un modelo de la generación de todo conocimiento.

En este trabajo me propongo analizar la manera en que dos filósofos del conocimiento vieron en la geometría este último aspecto que mencionaba, a saber, el de una *teoría general de la formación de objetos y de la determinación de sus relaciones armónicas*. Se trata, como he especificado en el título del mismo,

de Kant y Carnap. Defenderé la idea de que dichos filósofos utilizaron las herramientas metodológicas de la geometría con el fin de explicitar los principios generales de la constitución del conocimiento. Debo, no obstante, adelantar un punto fundamental para la línea de pensamiento que defenderé: cuando me refiero a la apropiación, con fines epistemológicos, de los métodos de la geometría, me refiero específicamente a los métodos de la geometría sintética o constructiva, la cual se remonta a los griegos y tuvo amplio desarrollo en el siglo XIX.

La estructura de mi investigación será la siguiente: en primer lugar, expondré los rudimentos conceptuales de la geometría sintética, con su énfasis en el concepto de construcción; en segundo lugar mostraré la forma en que, según mi opinión, Kant modela su método de constitución del conocimiento inspirado en los principios de la geometría de la construcción; en tercer lugar dirigiré mi atención al *Aufbau* de Carnap y a su teoría de la constitución; por último, haré algunas reflexiones sobre la conveniencia de este modo de proceder filosófico.

Geometría sintética y analítica

En la geometría hay una antigua distinción entre dos tipos de métodos de demostración. Por un lado, está el método que consiste en suponer un resultado deseado que se puede alcanzar, por ejemplo, en suponer que hemos tenido éxito en hacer una construcción deseada, en el sentido corriente de «construcción». Luego, a partir de estas suposiciones se argumenta «hacia atrás», por así decirlo, hacia las condiciones a partir de las cuales la construcción es posible y hacia las maneras en las que se puede realizar. Este método se llama analítico. A veces fue atribuido a Platón, pero no se empleó en gran escala, explícita y sistemáticamente, hasta la geometría analítica de Descartes, cuyo mismo nombre se deriva del método «analítico» en cuestión. El otro método era el método sintético. Su aplicación consiste en tratar de producir el resultado deseado mediante la efectuación real de construcciones, y lo que es más importante, que dichas construcciones proceden desde elementos simples a partir de un conjunto fijo de reglas. Aquello que distingue a los dos métodos, por lo tanto, es de manera general el hecho de que en el método

analítico no se hagan construcciones mientras que el método sintético se basa en el empleo de construcciones reales de acuerdo con reglas fijas.

El paradigma clásico de la utilización del método sintético en geometría se encuentra en los *Elementos* de Euclides. Estos comienzan con 23 definiciones, en las cuales se definen la mayoría de los términos básicos, cinco postulados, y cinco nociones comunes. Los postulados posibilitan que se realicen ciertas construcciones geométricas: unir dos puntos con una línea, trazar un círculo con cualquier radio y con centro en cualquier punto, etc. Las nociones comunes son deducciones permisibles o reglas de inferencia aplicables fuera de las matemáticas: dos cosas que son iguales a una tercera, son iguales entre sí, si cantidades iguales se agregan a cantidades iguales, los resultados son iguales, etc.

¿Cuál es la estructura de una proposición en la geometría de Euclides? Primero hay una enunciación de una proposición general. Por ejemplo, en la proposición 20 de los *Elementos* dice: «En todo triángulo dos lados tomados juntos de cualquier manera son mayores que el restante» (Euclides 2000, p. 43). Esta parte de la proposición fue llamada πρότασις. Pero Euclides jamás procede únicamente sobre la base de la enunciación. En cada proposición, indica a continuación la manera en que es posible construir, por así decir, un «ejemplar» de la figura que se enuncia en la πρότασις. Esta construcción equivale a una verdadera demostración de la proposición en cuestión. Dice a continuación de la proposición 20: «Pues, sea ΑΒΓ un triángulo. Digo que dos lados del triángulo ΑΒΓ tomados juntos de cualquier manera son mayores que el restante, los lados ΒΑ, ΑΓ (mayores que) ΒΓ, los lados ΑΒ, ΒΓ (mayores que) ΑΓ, y los lados ΒΓ, ΓΑ (mayores que) ΑΒ» (*ibíd*.). Esta parte de una proposición euclidiana era llamada εκθέσις o exposición (la traducción latina fue *expositio*).

La exposición o εκθέσις está estrechamente ligada con la parte que sigue o tercera parte de una proposición euclidiana, la *construcción auxiliar.* Esta parte era a menudo llamada la *preparación* u *organización* (κατασκευή). Consistía en declarar que la figura construida en la exposición tenía que ser completada mediante el trazado de algunas líneas, puntos y círculos adicionales. En nuestro ejemplo, la preparación dice así: «Prolónguese por el otro lado ΒΑ hasta el punto Δ, y hágase ΑΔ igual a ΓΑ y trácese ΔΓ» (*ibíd*.).

La construcción era seguida por la αποδειξις o prueba propiamente dicha. En ésta no se realizaban más construcciones. Allí tenían lugar una serie de inferencias que concernían a la figura que había sido introducida en la exposición y completada en la construcción auxiliar. Estas inferencias hacían uso de axiomas, proposiciones anteriores, y de las propiedades de la figura que se seguían del modo en que la figura estaba construida.

Después de haber alcanzado la conclusión deseada acerca de la figura particular, Euclides regresaba otra vez a la enunciación general, diciendo, por ejemplo, «Por consiguiente, en todo triángulo dos lados tomados juntos de cualquier manera son mayores que el restante» (*ibíd*., p. 44).

La característica fundamental de esta apelación a las construcciones en la geometría antigua consistió en su restricción a la particularidad de las figuras surgidas en ese acto de construcción. Esta atención dirigida a las figuras particulares, lo cual tenía que ver con la cuestión de la determinación de los géneros de existencia geométrica, condujo a dos carencias en el punto de vista antiguo, a saber, que aquellas cosas que manifestaban características visibles diferentes no pudieran ser subsumidas bajo un concepto simple; y la carencia de unidad en los principios constructivos de la geometría.

Esta situación comenzó a revertirse con el trabajo de Descartes, quien planteó de una manera explícita el principio de que todas las expresiones particulares del pensamiento han de presentar un orden y conexión definida. No es el contenido de un pensamiento dado lo que determina su valor cognoscitivo, sino la necesidad mediante la cual se deduce desde primeros principios en una secuencia ininterrumpida. La primera regla de todo el conocimiento racional es, entonces, que las cogniciones sean ordenadas formando una serie autocontenida dentro de la cual no hay transiciones no-mediadas. Ningún miembro puede ser introducido como un elemento enteramente nuevo, sino que cada uno ha de surgir paso a paso desde miembros anteriores de acuerdo con una regla.

Este pensamiento fundamental de Descartes demandó y condicionó una nueva concepción de la geometría. El conocimiento geométrico en sentido estricto no se encuentra donde los particulares son estudiados como objetos aislados, sino sólo donde la totalidad de esos objetos puede ser constructivamente generada de acuerdo a un proceso dado. La geometría sintética antigua

viola este postulado, porque su objeto es la forma espacial aislada cuyas propiedades se aprehenden en la intuición sensible inmediata, pero cuya conexión sistemática con otras formas nunca puede ser representada completamente. En este punto, de acuerdo con Descartes, la geometría sólo puede ser completada a través del concepto de número. El fin del método filosófico consiste en concebir a todos los objetos con la misma conexión sistemática que posee el sistema de los números.

Ahora bien, en el desarrollo posterior, la geometría nunca se iba a apartar de este principio cartesiano fundamental. Sin embargo, sí lo haría en relación a otro punto de fundamental importancia, a saber, el rechazo a la algebrización de la geometría y la consiguiente restauración del papel de la intuición en las cuestiones propiamente geométricas. Ya Leibniz había criticado a la geometría analítica por introducir un elemento arbitrario en la determinación de las figuras espaciales, a saber, los diferentes sistemas de coordenadas y sus diferentes ecuaciones. Desde el punto de vista de la geometría de la posición o proyectiva, desde donde se operó la divergencia con la geometría analítica, no es cuando limitamos la intuición y buscamos reemplazarla por meras operaciones de cálculo que obtenemos las verdaderas construcciones lógicas y estrictamente deductivas de la ciencia del espacio, sino cuando colocamos a la intuición en su completo alcance e independencia.

Debido a eminentes matemáticos como Steiner y Poncelet, la geometría proyectiva supo imitar la exactitud y rigor de los métodos analíticos, aunque ahora dentro del campo de lo propiamente geométrico. Los diferentes casos sensorialmente posibles de una figura no son, como en la geometría griega, individualmente concebidos e investigados, sino que todo el interés se concentra en la manera en la cual proceden mutuamente unos de otros. En la medida en que se considera una forma individual, ésta nunca aparece en su valor particular, sino como un símbolo del sistema al cual pertenece y como una expresión de la totalidad de las formas en las cuales puede ser transformada bajo ciertas reglas de transformación. Lo que el geómetra considera ahora ya no son las propiedades de una figura dada, sino la red de correlaciones en las cuales se encuentra con otras. Decimos que una forma espacial definida es correlativa a otra cuando es deducible de la anterior mediante una transformación continua

de uno o más de sus elementos de posición. La fuerza y conclusividad de la prueba geométrica descansan siempre en los invariantes del sistema, no en lo que es peculiar a los miembros individuales como tales. Este principio fundamental, debido especialmente a Poncelet (ver su *Traité...*,1865) y llamado por él *principio de la permanencia de las relaciones matemáticas*, fue completado y convertido en el eje de la reforma radical de la geometría que F. Klein llevó a cabo en su *Programa de Erlanger*, lo cual se expresa de este modo: «Dado cualquier grupo de transformaciones en el espacio que incluye el grupo principal como un subgrupo, la teoría invariante de este grupo proporciona un tipo definido de geometría, y toda posible geometría puede ser obtenida en esta forma» (Klein 1939, p. 133). El sentido de este pasaje puede ser explicado de la siguiente manera: las diferencias entre las geometrías son de hecho las diferencias entre las relaciones que ellas exploran. Las relaciones o propiedades que una geometría explora son aquéllas que son invariantes bajo un conjunto o grupo de transformaciones; las propiedades invariantes y las transformaciones permitidas se determinan mutuamente una a otra, de modo que la geometría puede ser caracterizada por las propiedades invariantes o el grupo de transformaciones.

De este modo, como en el caso del número, comenzamos desde una unidad original desde la cual, mediante una cierta relación generadora, surge la totalidad de los miembros en un orden fijo. En geometría proyectiva partimos de una pluralidad de puntos y mediante las relaciones de incidencia y existencia arribamos al plano proyectivo de tres dimensiones y al espacio proyectivo de tres dimensiones.

Geometría, unidad sintética y síntesis *a priori*

El interés de Kant por las cuestiones geométricas se remonta a su juventud, a las obras que intentan resolver las disputas entre Newton y Leibniz sobre la naturaleza del espacio,[1] pero per-

1. Entre estas obras podemos mencionar: *Pensamientos sobre la verdadera estimación de las fuerzas vivas* (1746); *Nueva elucidación de los primeros principios de la cognición metafísica* (1755); *Historia natural universal y teoría de los cielos* (1755); *Monadología física* (1756).

manece en el centro de sus reflexiones durante toda su vida. En la *Dissertatio* (1770) afirma que la geometría, como matemática pura, «es el órgano de todo conocimiento intuitivo y distinto; y puesto que sus objetos no sólo son los principios formales de toda intuición, sino que ellos mismos son *intuiciones originarias*, brinda un conocimiento en sumo grado verdadero, que es al mismo tiempo el modelo de la suma evidencia para los otros conocimientos» (Kant 1770 [1996], p. 16). ¿En qué consiste que la geometría constituya un *modelo* para la evidencia de los otros conocimientos?

Permítaseme para comenzar considerar la archiconocida distinción kantiana entre juicios analíticos y sintéticos. De acuerdo con la elucidación que Kant provee de esta distinción en la introducción a la *Crítica de la Razón pura* (en adelante *CRP)*, un juicio analítico es aquel que se obtiene mediante el análisis o descomposición de un concepto, colocando como predicado del juicio las notas obtenidas mediante dicho análisis. También llama a estos juicios «explicativos», dado que lo único que hacen es *desplegar* o *desarrollar* el contenido del concepto del sujeto. Como afirmará más tarde (en la sección sobre *El principio supremo de todos los juicios analíticos* en A150-B190), el principio que rige la formación de los juicios analíticos es el principio de no-contradicción, pues éste conduce a la afirmación del contenido del concepto del sujeto, es decir, dicho principio nos conmina a no colocar como predicado del juicio algo que contradiga el concepto del sujeto.

En cuanto a los juicios sintéticos, los cuales Kant también llama «extensivos», la clave se encuentra precisamente en el hecho de que el predicado de dichos juicios *agrega* ciertas determinaciones al concepto del sujeto que no es posible encontrar en este mediante análisis conceptual. Aquí se da una composición genuina, una síntesis entre elementos heterogéneos. En la sección respectiva sobre *El principio supremo de todos los juicios sintéticos* (A154-B194), dice Kant: «...el principio supremo de todos los juicios sintéticos consiste en que todo objeto se halla sometido a las condiciones necesarias de la unidad que sintetiza en una experiencia posible lo diverso de la intuición» (A158-B197). Es decir, que cualquier objeto que consideremos se constituye de acuerdo a una reunión sintética de caracteres que se dan en la intuición. Un objeto es, en este sentido, una construc-

ción desde caracteres simples de acuerdo con una regla. ¿Dónde debemos buscar, de acuerdo con Kant, la clave de esta regla de unidad, y con ella la posibilidad de los juicios sintéticos? A esto responde: «Es, pues, en el sentido interno, en la imaginación y en la apercepción donde hay que buscar la posibilidad de juicios sintéticos» (A155-B194).[2]

De acuerdo con Kant, la conjunción de las representaciones, aquello que llamaremos propiamente un objeto, no puede venir ya dada a través de la sensibilidad, ni tampoco es obra de la forma pura de ésta, esto es, ni espacio ni tiempo proveen de dicha conjunción, sino que obedece a un principio del entendimiento, «es un acto de la espontaneidad de la facultad de representar» (B130). Esta conjunción, que puede ser pura o empírica, sensible o intelectual, lleva, en la terminología kantiana, el nombre de *síntesis* (B130). Asimismo, al complejo constituido por la idea de una diversidad sometida a una función de reunión sintética lo llama Kant «combinación». Pero esta *combinación* posee un elemento más que la distingue de una mera síntesis, es el concepto de unidad. Dice Kant: «Combinar quiere decir representarse la unidad *sintética* de lo diverso» (B131), es decir, que *combinar* no es meramente sintetizar un conjunto de notas de una manera aleatoria, *combinar* es reunir sintéticamente cierta diversidad pero acompañada de una unidad en la síntesis. En todos los juicios en los que se sintetizan ciertos elementos de acuerdo a conceptos, existe una combinación en sentido estricto, pues la síntesis que allí opera es una síntesis acompañada de unidad.

Ahora bien, ¿en qué consiste dicha unidad? Consiste en que en cada acto de percepción reconozco a las representaciones que acuden a mi conciencia como *mis* representaciones, esto es, las refiero a una conciencia básica que las unifica y las conecta. Esta conciencia, el «Yo pienso», posibilita no sólo la síntesis de la variedad de intuiciones que constituyen cada experiencia perceptiva, sino

2. No deseo entrar en una discusión aquí, pero debo apuntar mi discrepancia con Coffa, quien al comienzo de su ya famoso 1991 interpreta a Kant como sosteniendo que la base de los juicios sintéticos es la intuición. Es sobre este énfasis que Coffa sostiene su historia de la tradición semántica, la cual, en su opinión, recoge los resultados de la crisis a la que la revolución en geometría del siglo XIX condujo a la intuición, y con ello a la idea de lo *a priori* constitutivo. En mi *Lo apriori*... (2008*a*), discuto pormenorizadamente este asunto con la interpretación de Coffa.

también la unidad de esas experiencias de modo de constituir un conjunto unitario que reconozco como algo que me pertenece. Para ponerlo en otros términos, el «Yo pienso» es un principio formal[3] sintético originario responsable no sólo de la constitución de nuestras experiencias perceptivas individuales, sino de la conjunción de las mismas en una totalidad ordenada, estable y consistente, es decir, es el principio responsable de la objetividad de nuestra visión del mundo. Como dice Kant: «Como dada *a priori*, la unidad sintética de lo diverso de las intuiciones constituye, pues, el fundamento de la identidad de la misma apercepción que precede *a priori* a todo *mi* pensamiento determinado» (B134).

Es esta facultad fundamental de enlace de las representaciones la que posibilita la construcción de juicios sintéticos y por ende la construcción de conocimientos. Conocer es, desde el punto de vista de Kant, construir un objeto mediante la reunión sintética de caracteres e introducirlo dentro de una totalidad consistente. Y no es casual que Kant ejemplifique este punto con un caso extraído de la geometría: «Para conocer algo en el espacio, una línea, por ejemplo, hay que trazarla y, por consiguiente, efectuar sintéticamente una determinada combinación de la variedad dada, de forma que la unidad de este acto es, a la vez, la unidad de conciencia (en el concepto de línea), y es a través de ella como se conoce un objeto (un espacio determinado)» (B138). Aquí se expone con claridad el procedimiento constructivo que señalamos como característico de la geometría sintética. Podría decirse que la *variedad dada* a la que se refiere Kant son los puntos, y la *determinada combinación* a los dos primeros axiomas de Euclides. Lo que interesa es que a continuación de este pasaje agregue Kant con énfasis: «La unidad sintética de la conciencia es, pues, una condición objetiva de todo conocimiento» (B138). En mi opinión, Kant eleva el método sintético en geometría a principio universal de construcción del conocimiento.

---

3. Al referirme al «Yo pienso» como principio *formal*, me hago eco de la propia distinción kantiana entre apercepción pura u originaria y empírica, dado que Kant define a la primera como aquella que debe poder acompañar a toda representación pero que no puede estar acompañada por ninguna otra representación. Asimismo, es de fundamental importancia en este sentido la afirmación de Kant respecto a que dado que nuestro entendimiento no es productor de su propio contenido, se sigue su naturaleza típicamente sintetizadora (B136).

Pero analicemos el otro componente importante que Kant menciona como clave de la construcción de juicios sintéticos, a saber, la imaginación. En la sección titulada *La aplicación de las categorías a los objetos de los sentidos en general* de la segunda edición, Kant distingue entre síntesis intelectual y síntesis figurativa. La primera es la que se refiere a la unidad de los objetos de la intuición en general con relación a la unidad de apercepción. La segunda, en tanto, se refiere a la aplicación de la misma unidad de apercepción, y con ello de las categorías, pero concretamente a la diversidad de la intuición sensible *a priori*. Esta síntesis es, en sus palabras: «la condición a la que necesariamente han de someterse todos los objetos de nuestra intuición» (B151). Kant llama a esta síntesis «síntesis trascendental de la imaginación».

Uno se pregunta de inmediato qué tiene que ver la imaginación en este punto, y Kant argumenta de una manera bastante oscura como para extraer una idea clara al respecto. Tal vez podríamos primero intentar hacernos una idea del proceso de síntesis que Kant está concibiendo y luego ver por qué la imaginación tiene un papel importante en él.

Para ello consideremos el ejemplo que Kant mismo propone en B154, donde dice: «Esto lo percibimos siempre en nosotros. No podemos pensar una línea sin *trazarla* en el pensamiento, ni un círculo sin *describirlo*, como tampoco representar tres dimensiones del espacio sin *construir* tres líneas perpendiculares a partir del mismo punto». Desde mi punto de vista, no es casual que el ejemplo sea extraído de la geometría, como tampoco es casual que en él aparezca el verbo *construir* y otros dos términos en cursivas que entrañan la idea de construcción. Por ello dirigiré mi atención hacia la forma en que Kant concibe la producción del conocimiento geométrico y veré si allí pueden encontrarse las claves de la síntesis figurativa.

En las *Observaciones generales sobre la estética trascendental*, Kant se pregunta acerca de las proposiciones de la geometría: «¿de dónde sacamos semejantes proposiciones y en qué se apoya nuestro entendimiento para llegar a tales verdades absolutamente necesarias y universalmente válidas?» (B64-A47). Y la respuesta es que un conocimiento de ese tipo sólo podría obtenerse de dos fuentes, a saber, intuiciones o conceptos. Dado que ambos están dados *a priori* o *a posteriori*, debemos considerar cada una de estas opciones. Es claro que, si como Kant parece creer (y nadie en

el siglo XVIII creería lo contrario), la geometría es una disciplina constituida por verdades universales y necesarias, no podría derivar sus proposiciones de conceptos empíricos y de sus intuiciones correspondientes, pues dicha cosa convertiría a la geometría en una disciplina irremediablemente empírica. Sólo quedan las opciones de que el conocimiento geométrico se derive o bien de conceptos puros o bien de intuiciones *a priori*. Lo primero es desechado apelando a la definición de analiticidad y a la imposibilidad de explicar un juicio de la geometría con base en dicha idea. Entonces, la única opción que queda es considerar que las proposiciones de la geometría se derivan de intuiciones puras. Pero aquí Kant plantea una distinción, dice: «Pero ¿de qué clase de intuición pura se trata: *a priori* o empírica?» (A48-B65). En mi opinión, una intuición pura empírica sería una representación inmediata de un momento particular del tiempo o un espacio particular no actual, por ejemplo, la representación que puedo tener en el momento en que escribo este trabajo de las turbias aguas del Río de la Plata. Se trata de una representación independiente de la experiencia del caso, pero no independiente de toda experiencia. Y es posible por la intervención de la facultad de imaginación, aunque de una imaginación puramente reproductiva. Asimismo, se trataría de una representación que no es universalmente válida, sino de una que tiene una validez puramente subjetiva.

Por otro lado, una intuición pura *a priori* sería una representación que surge como una necesidad de la forma pura de la sensibilidad, independiente de los caracteres sensibles pasados o actuales, pero no completamente independiente de toda clase de representación sensible. No olvidemos que para Kant, la geometría, y en general todo el conocimiento matemático es conocimiento por *construcción* de conceptos, esto es, un conocimiento en el cual es imprescindible presentar la intuición *a priori* correspondiente al concepto. Se trata, según Kant, de una representación que, en tanto intuición, es una representación de un objeto singular, sin embargo, en la medida en que se construye allí un concepto, dicha representación tiene que expresar las propiedades comunes a dicha clase de representaciones, es decir, debe tener validez universal. En A714-B742 dice: «Construyo, por ejemplo, un triángulo representando, sea el objeto correspondiente a este concepto por medio de la simple imaginación, en la intuición pura, sea, de acuerdo con ésta, sobre el papel, en la intuición

empírica, pero en ambos casos completamente *a priori*, sin tomar el modelo de la experiencia». La imaginación, encargada de la construcción misma, procede no de una manera meramente reproductiva, sino esencialmente productiva, pues como el propio Kant afirma no *toma el modelo de la experiencia*, es decir, hace abstracción de las circunstancias específicamente sensibles que constituyen una figura geométrica concreta (por ejemplo, la magnitud de sus lados y ángulos), destacando las propiedades universales que la representación particular está instando. Para ponerlo en otros términos, las figuras geométricas construidas en la intuición pura constituyen representaciones de las propiedades invariantes que caracterizan a dicha clase de figuras.

Volvamos ahora a la síntesis figurativa. Tal vez ahora tenga más sentido la definición que Kant da de la imaginación como la «facultad de representar un objeto en la intuición incluso *cuando éste no se halla presente*» (B151). En la síntesis figurativa, la imaginación es la única que puede suministrar *a priori* la variedad sensible en orden a que el entendimiento, a través de la unidad sintética de la apercepción, lleve a cabo la síntesis de la misma regida por las categorías. No obstante, según Kant, es la imaginación misma la que produce la síntesis, aunque regida por las categorías, y esto se justifica porque aquí estamos tratando de la aplicación de las categorías a la sensibilidad, no de la síntesis meramente pensada en la categoría (síntesis intelectual). Y nuevamente el caso de la geometría nos ilustra el punto: «En esta síntesis sucesiva de la imaginación productiva se basan, para producir las figuras, las matemáticas de la extensión (geometría) con sus axiomas» (B204).

Así, parece que la síntesis figurativa procede, con relación a todo el conocimiento sintético, del modelo de construcción de conceptos que se lleva a cabo en las matemáticas y en especial en la geometría pura. La imaginación productiva,[4] aquella que no

4. En el siglo V, Proclus Diadochus, con quien comencé este escrito, llevó a cabo una justificación filosófica del procedimiento constructivo de la geometría sobre líneas muy semejantes. La geometría es un conjunto de λόγοι latentes y ocultos, mezclados en el entendimiento, la διάνοια, que no es capaz de percibirlos. Para que esto sea posible es necesario desplegar y proyectar esos λόγοι en la imaginación, la φαντασία. Por lo tanto, el conocimiento geométrico como un todo está ya presente en la διάνοια y emerge gracias al movimiento de la misma en la φαντασία.

sigue *el modelo de la experiencia*, no sólo es capaz de presentar *a priori* las intuiciones correspondientes, sino que *construye* los objetos del conocimiento de acuerdo a una regla dictada por el entendimiento. De este modo, la idea de construcción, principio fundamental de la geometría sintética, se constituye como el principio fundamental de todo conocimiento sintético. Y esta es la razón por la que he estado hablando de juicios sintéticos sin distinguir, como lo hace Kant, entre juicios sintéticos *a priori* y juicios sintéticos *a posteriori*. Pues el principio que los hace posibles es exactamente el mismo, siendo la diferencia que en el primer caso las construcciones ocurren *a priori* y en el segundo *a posteriori*. Kant deja claro este punto en la sección 6 de los *Prolegómenos*, donde dice: «Esta observación con respecto a la naturaleza de la matemática, nos conduce a la primera y superior condición de su posibilidad, a saber: debe haber en su fondo alguna intuición en la cual pueda presentar todos sus conceptos *in concreto* y, sin embargo, *a priori* o, como se dice, construirlos [...]; pues así como la intuición empírica hace posible, sin dificultad, que el concepto que nos formamos de un objeto de la intuición se amplíe sintéticamente en la experiencia por nuevos predicados que ofrece la intuición misma, así puede hacerlo también la intuición pura, solamente con esta diferencia: que, en el último caso, los juicios sintéticos habrán de ser *a priori*, ciertos y apodícticos; pero, en el primero, solamente *a posteriori* y empíricamente ciertos» (Kant 1991, p. 41).

La geometría sintética y el *Aufbau* de Carnap

Al igual que Kant, Carnap también comenzó su carrera filosófica enfrentándose con problemas relativos al espacio y la geometría. En su tesis doctoral, Carnap (1922) presenta un diagnóstico acerca de la confusión que, a su manera de ver, reinaba en las discusiones sobre la naturaleza del espacio durante aquellos años. En su opinión, los malentendidos que dominan la discusión sobre este tópico, provienen del hecho simple y llano de que los participantes en la disputa están refiriéndose a diferentes tipos de espacio. Por lo tanto, en orden a clarificar la situación, deberíamos comenzar por distinguir cuidadosamente esas diferentes clases de espacios, para luego resolver el problema de sus

interrelaciones. Los tres tipos de espacio que distingue son: espacio formal, espacio intuitivo, y espacio físico. A su vez, estas diferentes clases de espacio se corresponden con el objeto de estudio de matemáticos, filósofos y físicos respectivamente.

En este trabajo, Carnap intenta articular una compleja posición filosófica que, por un lado, intenta hacer justicia a los desarrollos que la geometría había tenido en el siglo XIX, principalmente el surgimiento de las geometrías no euclidianas y su aplicación en la teoría de la relatividad, y por otro, mantenerse dentro del paradigma kantiano. El resultado consiste en sostener, bajo la influencia no sólo de Kant, sino de Husserl y Cassirer, que el espacio posee una forma necesaria, determinada *a priori* desde la intuición (entendida, a la manera de Husserl, como intuición de esencias), cuya estructura es una estructura topológica, y varias formas opcionales, convencionalmente determinadas, que constituyen, junto con la forma topológica básica, la estructura espacial completa, esto es, los espacios métricos y proyectivos. En otro lugar he presentado una interpretación de esta concepción de Carnap que no repetiré aquí.[5] Mi interés en este texto no es restringirme a la filosofía de la geometría de Carnap, sino a su propósito epistemológico más general contenido en el *Aufbau*. Mi tesis será que la teoría de la constitución se encuentra también inspirada en el modelo constructivo de la geometría sintética.

Desde mi punto de vista, hay cuatro aspectos en los cuales el sistema del *Aufbau* refleja el procedimiento de dicha geometría. En primer lugar, el sistema de constitución inicia con un cierto conjunto de elementos primitivos, las llamadas «experiencias elementales». Influido por la psicología de su tiempo, concretamente por la psicología de la Gestalt, Carnap concibe esas experiencias básicas como totalidades sensoriales cuya principal característica es su naturaleza indivisible (seccs. 67, 68). Asimismo, esas experiencias constituyen un continuo que Carnap llama «corriente de vivencias» y sólo pueden ser identificadas dentro de ese continuo en función de las relaciones que las mismas mantienen entre sí.

El segundo de los aspectos semejantes al método sintético en geometría es el que tiene que ver con el principio metodológico que guía la construcción de objetos desde esas unidades básicas. Dado que las mismas son esencialmente indivisibles, el trata-

5. Véase mi 2008*b*.

miento no podrá proceder de otra manera que sintéticamente. Esto significa que el tratamiento de las unidades indivisibles sólo podrá ser relacional, lo que no es más que la aplicación, en la elucidación de los procesos de constitución de los objetos del mundo, de lo que Carnap había llamado en su tesis doctoral «una teoría del orden», lo cual identifica, siguiendo a casi toda la tradición de investigación geométrica al menos hasta Hilbert, con el espacio formal.[6] Esta consiste en «una ciencia de elementos indeterminados y relaciones igualmente indeterminadas que se dan entre aquellos, para los cuales se presuponen sólo unos pocos axiomas sobre la base de los cuales se deriva un número ilimitado de teoremas» (Carnap 1922, p. 3). La idea fundamental consiste en usar a las relaciones y sus propiedades como medio para ordenar una cierta variedad de elementos básicos. Por ejemplo, mediante la relación «más viejo que», que es una relación asimétrica y transitiva, podemos ordenar, entre otras cosas, a los estudiantes de una clase. Los mismos conformarán una serie y la relación será vista, en palabras de Carnap, como una «relación formadora de series». En el *Aufbau,* Carnap llama a este principio de organización de lo dado «relaciones básicas», al cual ve esencialmente como una categoría en sentido kantiano. Su papel consiste, al igual que éstas, en llevar a cabo la «síntesis de la multiplicidad, al formar la unidad del objeto» (Carnap 1988, p. 159). La diferencia es que, en el sistema de constitución sólo cabe distinguir una única categoría, la cual es suficiente para generar los diferentes dominios de objetos que constituyen el mundo: los objetos de la psique propia, los objetos físicos, los objetos de la psique ajena, y los objetos culturales.

El tercer aspecto en el que el sistema de constitución de Carnap refleja el método geométrico es que los diferentes dominios de objetos recién mencionados surgen unos a partir de otros «mediante la aplicación de una regla general y formal a la situación empírica del presente nivel» (Carnap 1988, p. 192). Al igual que el principio de continuidad de Poncelet, en el cual una forma geomé-

6. Carnap retrotrae la idea de esta teoría pura del orden a la concepción de Lebniz acerca de la *mathesis universalis*, esto es, la idea de una teoría universal que presenta la ley formal de cualquier teoría particular con cierto contenido. Desde su punto de vista, lo único que nos conmina a llamar a esta teoría pura del orden «espacio formal» es que es susceptible de ser aplicada al espacio a través de su determinación desde el espacio intuitivo.

trica se dice que es correlativa a otra en la medida en que es deducible de la primera mediante una transformación continua de uno o más de sus elementos de posición, preservando a través de dicha transformación la validez de ciertas relaciones, en el sistema del *Aufbau*, los diferentes niveles de objetos van constituyéndose unos a partir de otros, como relaciones entre las vivencias, clases de ellas, clases de clases, etc. Por ejemplo, a partir de los llamados «círculos de semejanza», surgidos mediante la aplicación del cuasianálisis basado en la relación de semejanza parcial a las vivencias elementales, se constituyen las clases cualitativas como aquellas clases de vivencias elementales que tienen un componente común determinado. A su vez, las clases de sentidos se constituyen a partir de la aplicación del cuasianálisis basado en la relación de semejanza parcial con las clases cualitativas, como clases de abstracción de esa cadena de semejanzas entre las cualidades. Lo importante, desde el punto de vista de la teoría de la constitución, es que estos diferentes dominios de objetos preservan una cierta estructura que es eminentemente relacional. Por ello, dice Carnap: «Toda proposición acerca de cualquier objeto, en cuanto a su contenido es una proposición acerca de sus elementos básicos; en cuanto a su forma, es una proposición acerca de las relaciones básicas» (*ibíd*., p. 159). Esto nos conduce al cuarto aspecto de la semejanza con la geometría sintética. Subrayamos antes que, desde el punto de vista de los geómetras del siglo XIX, las representaciones geométricas ya no han de ser vistas en su particularidad, sino como instancias de un cierto género de objetos. Este género no ha de ser visto como una totalidad de atributos separados que recurren uniformemente en los individuos, sino como una conexión de condiciones mediante las cuales lo individual es ordenado. En el *Aufbau*, por su parte, Carnap se compromete desde el comienzo con la idea de que «el objetivo de toda teoría científica consiste en llegar a ser, en cuanto a su contenido, una descripción pura de relaciones» (*ibíd*., p. 19). Es decir, que entre los modos de caracterizar los objetos, la ciencia prefiere una descripción de relaciones a una de propiedades. La razón de esta preferencia radica en que en este modo de descripción no se necesita salir del dominio de objetos para caracterizarlos, ofreciendo la posibilidad de un análisis inmanente del mismo. Carnap ejemplifica el punto con un ejemplo extraído de la geometría. Dice: «Descripciones de relaciones: descripción de una figura

geométrica, la cual consiste en puntos y líneas rectas, indicando las relaciones de su incidencia. Descripción de una curva indicando su ecuación natural, o sea, la relación que cada uno de los elementos de la línea tiene con la cantidad anterior» (*ibíd*., p. 18).

Pero hay que enfatizar que lo que interesa de la relación, en cuanto a su posibilidad para caracterizar dominios de objetos, no son ni las propiedades particulares de los términos del dominio, ni la relación misma, sino sus características meramente estructurales, las cuales constituyen el núcleo de la teoría de relaciones.[7] De esto se sigue que, según Carnap, «las proposiciones de la ciencia hablan de meras formas, sin decir cuáles son los términos y las relaciones de esas formas» (*ibíd*., p. 22). En otras palabras, las proposiciones de la ciencia son objetivas, hacen abstracción de los contenidos particulares de las percepciones de los objetos, articulando sus conceptos de una manera paulatinamente desubjetivizadora. Si la serie de vivencias perceptuales constituyen una variedad dependiente de los estados subjetivos, es sólo a través del concepto de forma que es posible pensar la objetividad.

Claro está, aplicado esto a las ciencias formales no habría mayores problemas, pero sostener que las ciencias empíricas proceden caracterizando sus objetos desde un punto de vista meramente estructural, es algo que no parece *prima facie* obvio. En este punto, Carnap sostiene, siguiendo la teoría de la coordinación de Reichenbach,[8] que el ámbito de las relaciones empíricas puede ser designado mediante una estructura formal sólo en la medida en que comprendemos que ese ámbito empírico queda constituido desde dichas relaciones estructurales. Así, los objetos de experiencia presentan los rasgos objetivos determinados estructuralmente.

Conclusiones

Anteriormente he intentado mostrar que tanto Kant como Carnap erigen sus respectivas teorías epistemológicas en franca analogía con los métodos y características de la geometría sinté-

7. La teoría de relaciones, debida a Russell y Whitehead, distingue como tipos de relaciones, las siguientes: simétricas, no-simétricas, asimétricas, reflexiva, no-reflexiva, irreflexiva, transitivas en intransitivas, etc.

8. La obra que Carnap cita en su apoyo es Reichenbach 1920.

tica. Esto no incluía afirmación alguna acerca de la corrección de dichos puntos de vista. Mi punto ha sido, antes bien, histórico y conceptual; he intentado descubrir las condiciones bajo las cuales esas concepciones han de ser propiamente entendidas y evaluadas: si queremos entender qué estaban intentando hacer dichos filósofos fallaremos a menos que los veamos tomando a las matemáticas no meramente como un objeto de estudio filosófico, sino como los recursos para concebir las tareas de la filosofía misma así como la fuente de las herramientas a ser usadas en la filosofía. Esto, desde mi punto de vista, no constituye una mera curiosidad histórica, pues si hay una cuestión abierta es la de la relación de la ciencia con la filosofía.

Tanto Kant como Carnap estuvieron tras la búsqueda de las condiciones generales que hacen posible todo conocimiento, formal y empírico. Esta búsqueda ha definido parcialmente el destino de lo que propiamente llamamos filosofía y permanecerá como la marca de fábrica de la misma. No obstante, como he intentado mostrar, ambos filósofos no tuvieron reservas a la hora de emplear recursos extraídos de las matemáticas para articular sus respectivos sistemas epistemológicos. Esto los colocaría en un lugar interesante de la pugna entre naturalismo y normativismo que ha dominado la discusión contemporánea sobre el tópico. En su perspectiva, la filosofía se definiría como una disciplina de segundo nivel encargada de la elucidación de las condiciones que posibilitan el conocimiento científico, algo que la ciencia misma no busca elucidar, es decir, constituiría una disciplina dirigida a los aspectos normativos del conocimiento. No obstante, puede llegar al establecimiento de dichas condiciones a través de un análisis del proceder mismo de la ciencia, bajo la creencia de que el mismo exhibe en su desarrollo esa estructura normativa, la cual no debe confundirse con sus condiciones psicológicas, antropológicas o culturales.

Kant y Carnap creyeron que en la matemática, la cual consideraron como nuestro mejor ejemplar de conocimiento, encontramos de una manera explícita esas condiciones, las que en virtud de su grado de abstracción serían aptas para su extensión a otras ramas del conocimiento. Kant tomó el modelo constructivo de la geometría y lo convirtió en el principio supremo de la producción de todo juicio sintético, *a priori* y *a posteriori*. Carnap, por su parte, vio en la geometría formal una teoría general del orden aplicable a

cualesquiera dominios de objetos, y el sistema del *Aufbau* constituye, en sus palabras, «su aplicación al análisis de la realidad».

Mi propia sugerencia al respecto, la cual coincide con el espíritu de lo propuesto por Kant y Carnap, es que debemos prestar más atención a la peculiaridad y eficacia de algunos conceptos matemáticos, pues tal vez allí se nos revele parte del contenido normativo que hemos intentado atrapar infructuosamente por otros medios.

Referencias bibliográficas

CARNAP, R. (1922), *Der Raum: ein Beitrag zur Wissenschaftslehre,* Reuter & Reichard, Berlín.

— (1988), *La construcción lógica del mundo*, UNAM, México.

CASSIRER, E. (1910), *Substanzbegriff und Funktionbegriff; Untersuchungen über die Grundfragen der Erkenntniskritik,* Verlag, Berlín; traducción al ingles de W. Swabey y M. Swabey, *Substance and Function*, Open Court, Chicago, 1923.

COFFA, J.A. (1991), *The Semantic Tradition from Kant to Carnap: To Vienna Station*, Cambridge University Press, Cambridge.

EUCLIDES (2000), *Elementos de geometría,* Gredos, Madrid.

HOBBES, T. (1987), *Antología*, Península, Barcelona.

KANT, I. (1988), *Crítica de la razón pura,* Alfaguara, Madrid.

— (1991), *Prolegómenos a toda metafísica del provenir*, Porrúa, México.

KLEIN, F. (1939), *Elementary Mathematics from an Advanced Standpoint*, Macmillan, Nueva York.

MORMANN, T. (2003), «Synthetic Geometry and Aufbau», en T. Bonk (ed.), *Language, Truth and Knowledge. Contributions to the Philosophy of Rudolf Carnap*, Kluwer, Países Bajos.

PELÁEZ, A. (2008*a*), *Lo apriori constitutivo: historia y prospectiva*, Anthropos, Barcelona.

— (2008*b*), «El espacio intuitivo y la teoría de los invariantes en *Der Raum* de R. Carnap», en prensa en *Análisis Filosófico*.

PONCELET, J.V. (1865), *Traité de propietes projectives des figures, ouvrage utile a ceux qui s'occupent des applications de la geometrie descriptive et d'opperations geometriques sur le terrain*, Gauthier-Villars, París.

REICHENBACH, H. (1920), *Relativitätstheorie und Erkenntnis A Priori*, Verlag, Berlín; trad. y ed. al inglés de M. Reichenbach, *The Theory of Relativity and A Priori Knowledge*, University of California Press, Berkeley, 1965.

RUSSELL, B. (1914), *Our Knowledge of the External World as a Field For Scientific Method in Philosophy*, Open Court, Londres.

ELEMENTOS PARA UNA EPISTEMOLOGÍA DE LOS DIAGRAMAS

Sergio F. Martínez
UNAM, México

Introducción

La epistemología usualmente se entiende como un estudio de la manera en la que el conocimiento corresponde a los hechos. Ésta es una visión tradicional muy extendida de lo que es la epistemología. Sin embargo, no es la única. Uno puede pensar que la epistemología tiene que ver con otro tipo de éxito cognitivo que no se reduce a la mera correspondencia con los hechos. A un fin cognitivo de este tipo muchas veces se le caracteriza como *entendimiento*. Buena parte de la filosofía de la ciencia del siglo XX y de la epistemología coinciden en aceptar la idea de que el conocimiento fáctico es preeminente y, por lo tanto, cuando se habla de entendimiento se piensa en un fin epistémico subordinado a la búsqueda de conocimiento fáctico o bien en un mero fenómeno psicológico. Hempel, por ejemplo, consideraba que el entendimiento sólo podía caracterizarse como un fenómeno subjetivo, psicológico, y por lo tanto no apropiado para jugar un papel en la filosofía de la ciencia (Hempel 1965). En la medida que «entender» requería referencia a personas y conceptos, el entendimiento era un concepto pragmático que no tenía lugar en la filosofía de la ciencia.

Uno de los más influyentes seguidores, y crítico de Hempel, Wesley Salmon, hizo ver que muchas explicaciones científicas no podían modelarse en términos del modelo de Hempel porque en la ciencia la identificación de estructuras causales era muy importante, y esas estructuras no podían modelarse en términos del tipo de estructuras lógicas que Hempel pensaba eran prima-

rias para dar cuenta de la explicación científica. Salmon (1984) consideraba que la identificación de los mecanismos causales que dan cuenta de los fenómenos empíricos «es la clave para nuestro entendimiento del mundo» (p. 160). Así, el concepto de entendimiento para Salmon ya no es subjetivo, pero su objetividad proviene del conocimiento fáctico, se asocia con lo que se considera un criterio distintivo del conocimiento fáctico, un criterio que nos puede servir de guía para caracterizar las explicaciones científicas como aquellas que describen procesos causales e interacciones de cierto tipo. La idea de Salmon es pues que el entendimiento es un resultado de reconocer que el entendimiento científico puede caracterizarse de manera objetiva una vez que se reconoce que el criterio unificador de toda la empresa científica es la identificación de causas. Peter Lipton es otro que considera que el entendimiento no es más que «conocimiento de causas» (Lipton 2004, p. 30; Jonathan 2003; Elgin 2007).

Esta idea que el entendimiento científico consiste en alguna caracterización unificada del conocimiento fáctico ha sido desarrollada en otras direcciones. Michael Friedman (1974) propuso que el entendimiento científico era el resultado de la reducción del número total de fenómenos independientes que tenían que ser aceptados como dados. Philip Kitcher (1993) ha desarrollado una variante de esa idea que a diferencia de Friedman considera que la unificación no es el resultado de una reducción de los fenómenos que tenemos que aceptar como independientes sino de la reducción en los esquemas inferenciales que constituyen la ciencia. Darwin promovió el entendimiento en la medida que hizo ver que muchas explicaciones que antes eran formuladas a partir de diferentes cuerpos teóricos fueron a partir de Darwin derivadas de un mismo cuerpo teórico. Esta reducción de cuerpos teóricos la identifica Kitcher con entendimiento.

En epistemología hay también varios intentos de caracterizar entendimiento como una cierta perspectiva particularmente iluminadora del conocimiento fáctico. Una propuesta desarrollada con bastante detalle es la de Kvanvig (2003). Para Kvanvig el entendimiento como el conocimiento es un estado mental en el que las creencias que constituyen ese estado deben de ser verdaderas. A diferencia del conocimiento, sin embargo, el entendimiento es una cuestión puramente interna del estado cognitivo en cuestión: «It is the internal seeing or appreciating of explana-

tory relationships in a body of information which is crucial to understanding» (Kvanvig 2003, p. 198). Esta idea en realidad resuena con las propuestas mencionadas anteriormente provenientes de la filosofía de la ciencia. Si bien en las propuestas en filosofía de la ciencia no se habla de entendimiento como un estado mental, se piensa igualmente que el entendimiento consiste en la apreciación de relaciones explicativas en un cuerpo de información, aunque hay discrepancias respecto a cuáles serían las relaciones explicativas pertinentes.

Todas estas propuestas para caracterizar el entendimiento tienen un común denominador. Asumen que el entendimiento es una cierta perspectiva subjetiva del conocimiento fáctico. Hay varias críticas de esta manera de conceptualizar el entendimiento. Elgin (2007) elabora una crítica bastante interesante y pertinente para nuestros propósitos. Ella hace ver que la ciencia utiliza muchas veces idealizaciones y modelos que estrictamente hablando son falsos, y por lo tanto el entendimiento no puede consistir en una mera correspondencia con los hechos. Estoy básicamente de acuerdo con esta crítica de Elgin y abajo desarrollo una propuesta de lo que es entendimiento en esta dirección. Mi tesis central es que esa dimensión no fáctica del conocimiento consiste sobre todo en la integración de representaciones heterogéneas. Las representaciones heterogéneas son diferentes representaciones de una cosa o proceso que no podemos ver como describiendo partes que pueden agregarse para constituir una representación más completa, pero son la mejor representación del proceso que podemos tener.

Lo que quiero hacer aquí es sugerir que el entendimiento como algo más que conocimiento fáctico requiere reconocer de alguna manera la importancia que tiene el reconocimiento de la heterogeneidad del razonamiento. Es decir, una vez que se reconoce que hay diferentes tipos de razonamiento asociados con diferentes tipos de representación (y posiblemente de validez) que utilizan diferentes criterios de corrección (para los diferentes tipos de inferencia), entonces se requiere la noción de entendimiento para dar cuenta del tipo de logro cognitivo que está relacionado con la capacidad de integrar diferentes tipos de representación e inferencia.

Por supuesto, esto nos obliga en primer lugar a tomar una cierta distancia del presupuesto central que usualmente asocia

entendimiento con una manera de ver el conocimiento fáctico. Bill Wimsatt ha hecho ver en varios trabajos que un modelo falso puede ser importante para llegar a teorías verdaderas.[1] Esto sugiere que la verdad, o la aproximación a la verdad, no tienen que ser una exigencia indispensable a la hora de caracterizar la epistemología. Si se acepta que los modelos falsos pueden jugar un papel importante en la epistemología ya no parece tan remoto poder aceptar que las imágenes juegan un papel importante epistemológico en la ciencia. Las imágenes no son falsas, ni verdaderas, pero pueden jugar un papel epistemológico importante, precisamente porque, como los modelos falsos, muchas veces su papel no consiste en agregar información, ni siquiera en poner creencias verdaderas en una perspectiva (subjetiva) que nos da entendimiento, como lo propone Kvanvig (2003).

Más bien, podría argüirse que las imágenes, como los modelos falsos, son importantes en epistemología por dos razones relacionadas. Una razón es que *nos ayudan a diagnosticar el origen de errores o confusiones y por lo tanto permiten calibrar nuestros criterios de lo que es una buena inferencia o una buena explicación.* Wimsatt por ejemplo nos hace ver cómo la teoría de la herencia de Darwin, si bien profundamente equivocada, nos ayuda a entender mejor las potencialidades y limitaciones de la teoría de Mendel (véase Wimsatt 1987). La otra razón relacionada es que las imágenes (como los modelos falsos) muchas veces guían la integración de saberes, y en la medida que esa integración constituye muchas veces un nuevo saber llegan a ser parte constitutiva de un saber. Los saberes artísticos y técnicos muchas veces incluyen imágenes como parte constitutiva del saber.[2] No me interesa aquí entrar en la discusión sobre lo que es un saber, a diferencia de conocimiento, lo único que me interesa recalcar ahora es que un saber es un tipo de conocimiento que no necesa-

---

1. «Scientific models are often as useful for the false assumptions they make as for what truths they might embody. One often designs a false model deliberately for use as a template to compare with data when one is interested not in how well it fits the data, but in the form of the residuals —where it does *not* fit, how and why (Wimsatt 1987). This can be a powerful tool in the construction of new theory» (Wimsatt 2007, capítulo 6).

2. No es casualidad que los historiadores y sociólogos interesados en la cultura material de la ciencia sean quienes han estado más interesados en el estudio de la cultura visual (ver la próxima sección).

riamente se hace explícito como información sobre hechos que son, o no el caso, y muchas veces no puede caracterizarse meramente como conocimiento proposicional (conocimiento Qué). Es un tipo de conocimiento que depende de aspectos implícitos de la situación o el tema respecto al cual ese conocimiento se considera un saber. Un saber involucra muchas veces lo que en la epistemología tradicional se conoce como «conocimiento cómo». En las secciones siguientes doy ejemplos de saberes que ayudarán a entender el concepto de saber que estoy proponiendo. En otros trabajos desarrollo más a fondo el concepto de saber que utilizo aquí (ver en particular Martínez 2008).

De la cultura visual al entendimiento científico

La idea de que las imágenes son una parte importante y constitutiva de ciertos saberes ha sido promovida de muchas maneras diferentes en historia y sociología de la ciencia. En su famoso estudio sobre la historia de la geología en el siglo XIX, Rudwick (1985) ha hecho ver la importancia crucial que tiene en el desarrollo de la geología la invención de una serie de técnicas para la representación gráfica de diferentes aspectos de la Tierra. Rudwick, en particular, hace ver cómo ese saber es el resultado de un largo proceso de desarrollo de un «lenguaje visual» que eventualmente permitió representar la historia de la dinámica de los estratos geológicos. Deja claro que los mapas y otras técnicas de representación gráfica no son meras herramientas auxiliares, utilizadas para ilustrar una teoría, sino que más bien son elementos constitutivos de los argumentos de un nuevo saber.

En un reciente número de *Isis* (marzo de 2006) Norton Wise en el trabajo introductorio a una sección especial, «FOCUS», dedicada a la cultura visual de la ciencia, menciona algunas de las formas genéricas de visualización que considera han jugado un papel importante en la historia de la ciencia: instrumentos ópticos, mapas, museos, las proyecciones, los métodos gráficos, los métodos matemáticos, escaneo, simulación, y por supuesto el dibujo y la pintura. Entre los métodos gráficos menciona los diagramas indicadores en las máquinas de vapor inventadas por James Watt y John Southern y el miógrafo de Helmholtz que permitía trazar la «curva de energía» del músculo de un sapo.

Los diferentes trabajos examinan diferentes maneras en las que las imágenes ya no se consideran meras ilustraciones o mera tecnología, y pasan a entenderse como maneras de hacer conocimiento. Las diferentes maneras en las que esos diferentes trabajos encuentran que las imágenes son parte constitutiva de la generación del conocimiento de manera consistente, muestran que el problema de la construcción de representaciones pictóricas generadoras de conocimiento es un proceso bastante complejo. Un proceso en el que, por ejemplo, la representación de lo natural depende del significado de lo que se entiende por natural, que a su vez surge de una interacción entre diferentes tipos de prácticas, de donde surgen los estándares que guían la hechura de representaciones así como las convenciones utilizadas para su interpretación (véase en particular Smith 2006).

Los historiadores y sociólogos de la ciencia estudian hoy en día la cultura visual de la ciencia desde muchas perspectivas diferentes. Los filósofos de la ciencia le han prestado poca atención. En buena medida esto se debe a la manera como usualmente los filósofos de la ciencia entienden el conocimiento científico, como conocimiento fáctico que puede articularse proposicionalmente. La filosofía de la ciencia entonces tiende a reducirse al estudio de la sintaxis o la semántica de teorías que en última instancia se entienden como representando conocimiento fáctico. En esta sección quiero esbozar una manera en la que el reconocimiento de la cultura visual de la ciencia como parte integral de la generación de conocimiento científico, debe de ser tomada en cuenta en una epistemología que reconoce la importancia de diferentes tipos de representaciones, y en particular la importancia de representaciones pictóricas como parte del acervo representacional sobre el que se asienta el crecimiento del conocimiento. Voy a centrarme en la importancia epistemológica de un tipo particular de imágenes, los diagramas.

Cuando Wise menciona los diagramas como una forma de visualización, habla de diagramas en las ciencias experimentales. Es indudable que el tipo de diagramas que más han estudiado los historiadores y sociólogos son ese tipo de diagramas, pero *en la ciencia los diagramas juegan también un papel muy importante en la construcción de teorías y en la integración de saberes a niveles bastante altos de abstracción en los que su uso es crucial para generar entendimiento.* Esta diversidad de usos recurre a un

tipo de razonamiento que es distintivo y que podemos llamar razonamiento diagramático. Antes de caracterizar este tipo de razonamiento tenemos que decir mínimamente algo respecto a qué entendemos por diagrama y su diversidad de usos. Voy a usar la geometría euclidiana como un ejemplo paradigmático de cómo los diagramas juegan un papel crucial en la constitución de saberes. Posteriormente, voy a mostrar, con algunos ejemplos desarrollados de manera muy somera, cómo el razonamiento a través de diagramas que ejemplifica la geometría euclidiana puede verse como generadora de entendimiento a lo largo y ancho de la ciencia.

Los diagramas y la geometría euclidiana

Un diagrama es un tipo de imagen (generalmente acompañada de texto, o por lo menos de letras) constituida por elementos espacialmente distribuidos que guardan relaciones significativas entre ellos, que dependen y varían de acuerdo con su proximidad espacial y de acuerdo con ciertas convenciones estables dentro de una comunidad, que permiten identificar su significado dentro de cierto tipo de saber.[3]

Ahora bien, una manera en la que es posible reconocer el papel epistémico de los diagramas es considerar que, por lo menos en algunos usos, contribuyen al entendimiento en la medida que nos dan una justificación *a priori* por medio de la intuición. Esta era la idea de Kant y es la idea de varias propuestas contemporáneas que buscan entender el papel de los diagramas en la matemática (por ejemplo, Norman 2006). Según Norman, los diagramas son necesarios en el tipo de razonamiento que subya-

3. Por supuesto que como nos dice Goodman (1976, p. 170): «The mere presence or absence of letters or figures does not make the difference. What matters with a diagram, as with the face o an instrument, is how we are to read it». No es necesario en este trabajo adentrarnos en el problema de qué es un diagrama a diferencia de una gráfica o una pintura, por ejemplo. Todo lo que requiero es que se reconozca que un diagrama tiene elementos pictóricos que le son distintivos por la manera como los interpretamos. Parte de mi tesis es que esa manera de leer un diagrama ejemplifica un tipo de razonamiento que fácilmente identificamos y reconocemos porque cognitivamente es un tipo de recurso definido con un cierto tipo de representaciones.

ce la geometría euclidiana. El papel justificatorio de los diagramas no puede formularse como un argumento deductivo porque los diagramas justifican apelando a un contexto normativo implícito, implícito en los diagramas. Norman (capítulo 10) hace una distinción entre dos tipos de validez, validez lógica (sustitutiva) y validez temática. La corrección de las inferencias temáticas, que en este caso serían un tipo de inferencias visuales, depende de conocimiento tácito del sujeto que hace la inferencia. Así, una inferencia visual en la geometría puede ser temáticamente válida pero no lógicamente válida, porque el contexto de conocimiento pertinente no está explícito. La idea de fondo es claramente Kantiana, un diagrama confiere justificación porque está basado en la habilidad del agente racional de adquirir y desplegar ciertos conceptos que capturan propiedades espaciales (que reconocemos *a priori*).[4]

La idea de Norman es sumamente sugerente, pero es posible retener la idea de que hay diferentes criterios de validez, y que no toda validez depende de inferencias substitutivas, sin tener que aceptar que esas diferencias tienen que respaldarse en las habilidades de un sujeto racional en adquirir y desplegar ciertos conceptos que reconocemos *a priori*. En el caso de la geometría euclidiana esto puede hacerse de diferentes maneras. Por ejemplo, Netz (1999) considera que los diagramas deben entenderse como prácticas que unen a la comunidad de geómetras euclidianos precisamente porque articulan normas implícitas respecto a qué es una buena inferencia. Por lo menos para los griegos, según Netz, los diagramas no eran considerados como apéndices de las proposiciones, sino que se consideraban más bien el núcleo de una proposición. Las proposiciones eran individuadas por los diagramas, y por lo tanto los diagramas y el tipo de normas implícitas que articulan tenían que verse como normas asociadas con un saber relativamente autónomo de las proposiciones. Según Netz, para los griegos había una tensión esencial entre el diagrama como objeto físico y el texto. El diagrama concreto

4. No quiero sugerir que este tipo de propuesta me parezca no viable. Creo que es una propuesta que puede explicar varios tipos de inferencia diagramática, pero difícilmente todos. En todo caso esto es un tema que rebasa el presente trabajo y que requeriría una discusión a fondo del concepto de *a priori* pertinente.

y el texto podían y muchas veces entraban en conflicto. El texto puede decir que las líneas son paralelas, mientras que en el diagrama no lo son. Lo que hace que esa tensión desaparezca, o se convierta en una tensión fructífera son las convenciones de interpretación que son precisamente parte del saber que es la geometría euclidiana. Sin embargo, estas convenciones no son arbitrarias. Precisamente, en la medida que las convenciones están reguladas por la identificación e individuación de proposiciones hay maneras correctas e incorrectas de leer un diagrama.

Consideremos el problema que se plantea Euclides en el primer libro de los elementos: Construir un triángulo equilátero sobre una línea dada AB. La manera como Euclides resuelve el problema es utilizando el diagrama (1.1) de la figura 1.

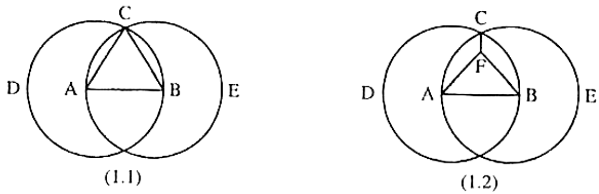


FIGURA 1

Euclides razona como sigue: si trazamos segmentos de línea a A y B de C, entonces el triángulo ABC es equilátero.

Este es un ejemplo muy conocido de una prueba que descansa sobre supuestos que son parte implícita del diagrama, pero que resultan ser defectuosos desde la perspectiva de una concepción formal de la prueba que exige que en última instancia cualquier supuesto sea apoyado por una proposición. Euclides no da ninguna razón que elimine la posibilidad de que no sea cierto que, como se asume en la prueba, exista un punto C en el cual los círculos ABD y BAE se intersecten, lo que se ilustra en (1.2).

Greaves (2002) arguye que Euclides parecía tener claro que había propiedades de los diagramas que no representaban relaciones entre objetos geométricos, y otras que sí. Creo que Greaves tiene razón en que esta distinción juega un papel muy importante en la caracterización y desarrollo de la geometría euclidiana. ¿Pero cómo puede sustentarse esta distinción? Hay varias propuestas en la literatura; particularmente pertinente a este res-

pecto es Miller (2007). Estas propuestas sugieren maneras en que los diagramas juegan un papel esencial en la determinación de las propiedades que representan relaciones entre objetos geométricos. Otra sugerencia, que es para nosotros particularmente atractiva, es la de Netz. Según él los diagramas *individualizan* proposiciones, y de esa manera nos permiten distinguir entre esos dos tipos de propiedades, a través de un examen de las inferencias que permiten o no. Desde esa perspectiva, una tarea central de la geometría euclidiana sería desarrollar pruebas a partir de diagramas, de manera tal que esas pruebas esclarecieran cuáles propiedades representaban (y cuáles no) relaciones entre objetos geométricos.

Nótese que si se asume, como lo hace un platonista, que los objetos geométricos existen independientemente de los diagramas y de lo que podamos encontrar a través de construcciones con esos diagramas, entonces el problema desaparecería. El problema que parece guiaba a Euclides era un problema que no se le presentaría a un platonista. Para Euclides, los diagramas representaban los objetos geométricos, pero no los representaban como meras copias o incluso como correspondencias definidas con «hechos». Un círculo debería entenderse como un ente abstracto, pero no como un ente platónico abstracto, sino como abstracciones enraizadas en un medio gráfico. Desde esta perspectiva, nuestras construcciones son confiables en la medida que se refieren a esas abstracciones, las abstracciones implícitas en los diagramas y las maneras como los diagramas se manipulan (de acuerdo a normas implícitas en las prácticas de la geometría euclidiana).

En un sentido, los diagramas para Euclides eran herramientas que permitían un cierto tipo de estudio experimental de objetos geométricos. No experimentos en el sentido tradicional en el que un experimento «descubre» un hecho, sino más bien en el sentido que alguien como Cartwright (1989) habla de un experimento como ejemplificando una capacidad, la capacidad de los diagramas para llevarnos a un saber geométrico (euclidiano). Ese saber no es un saber que puede reducirse al conocimiento de propiedades específicas de los objetos geométricos, porque mucho de ese saber depende de cómo vamos decidiendo como parte de la práctica geométrica cuáles son las propiedades confiables que nos permiten apoyar inferencias, y cuáles no. Este tipo de conocimiento no se reduce a enunciados de la forma

«objeto X tiene propiedad A». Es sólo a través de la manipulación de los diagramas y de la constatación de diferentes manipulaciones y de lo que aparentemente podemos o no hacer, que se va delineando un saber que nos inclina a decidir cuáles son las propiedades que importan, y por lo tanto, qué son los objetos de la geometría que representan los diagramas.

En resumen, la geometría euclidiana es un tipo de saber constituido por las proposiciones que pueden individualizarse a través de un estudio de las inferencias que permiten los diagramas, de acuerdo a ciertas normas (implícitas) establecidas como parte de una comunidad de geómetras. En este sentido, los diagramas juegan un papel muy importante en la constitución de ese saber que llamamos geometría euclidiana.

El entendimiento o saber que proviene de poner en perspectiva situaciones y hechos no puede reducirse a la mera agregación de proposiciones individuales. Por ejemplo, podemos saber, en el sentido de tener conocimiento, que dos más dos es cuatro, que el gato está sobre la alfombra y que la capital de Perú es Lima, pero esa información no es parte de un saber, o no podemos decir que promueve el entendimiento a menos que se integre en un todo respecto al cual cada oración tenga sentido. Saber requiere integración de información, pero esa integración no siempre puede entenderse como mera agregación de información. El conocimiento que tenemos sobre líneas rectas, triángulos, círculos y otras figuras geométricas se integra en ese saber que es la geometría euclidiana. Pero todo lo que podamos saber sobre rectas por separado, o sobre triángulos por separado, no suma lo que la geometría euclidiana nos dice sobre rectas y triángulos. Si bien un diagrama no describe las cosas «tal y como son» (fácticamente), tiene una capacidad para hacernos ver relaciones entre cosas que son verdades relevantes, importantes como parte de una caracterización de una visión coherente y comprensiva de las cosas.

Los diagramas en la constitución de saberes: más allá de la geometría euclidiana

La tesis central de este trabajo es que los diagramas juegan un papel muy importante en la constitución de saberes en la ciencia, en la medida que contribuyen a dar cuenta de la estructura lógica

de formas de razonamiento que no se representan en forma exclusivamente lingüística. Desde diferentes perspectivas, éste es un tema importante en la lógica desde los años ochenta, por lo menos. El laboratorio sobre inferencia visual (*Visual Inference Laboratory*) establecido en 1992 precisamente se proponía como objetivo el estudio «de las propiedades lógicas y cognitivas de las representaciones visuales y su papel en el razonamiento» (Allwein y Barwise 1993). La idea básica que guía ese proyecto es la tesis de que hay diferentes tipos de representaciones, y que los diagramas son un tipo de representación que ellos caracterizan como «homomórfico». Una representación homomórfica preserva estructura en la medida que se satisfacen varios criterios:

i) La incompatibilidad de tipos de íconos corresponde a la incompatibilidad de propiedades.

ii) Un subtipo de un tipo se representa por medio de propiedades que están en una relación correspondiente de propiedad a subpropiedad.

iii) Toda posibilidad es representable, y por lo tanto no hay situaciones posibles que se representan como imposibles (Allwein y Bairwise 1993, p. 3).

Las representaciones lingüísticas, por supuesto, no son por lo general homomórficas. Las representaciones homomórficas son importantes porque el homomorfismo lleva consigo implícitamente una serie de constreñimientos que guían el razonamiento y que por lo tanto hacen innecesarias inferencias explícitas con representaciones lingüísticas. Uno puede pensar que esto simplemente quiere decir que este tipo de inferencias son útiles pero dispensables desde el punto de vista del análisis de qué es razonamiento. Sin embargo, hay por lo menos dos tipos de consideraciones que fuertemente sugieren que debemos abandonar la pretensión de que existe un esquema universal de representación.

Un tipo de consideración proviene de estudios empíricos sobre el razonamiento que muestran que si el razonamiento de agentes no explota de alguna forma la estructura del medio ambiente, los agentes requieren de capacidades cognitivas que no son realistas (Cherniak 1986). Muchas líneas de investigación contemporánea respecto al razonamiento y la cognición desarrollan este tipo de supuesto; por ejemplo, Gigerenzer y Todd

(1999). Los estudios sobre sesgos y su relación con la estructura heurística del razonamiento conforman una de las líneas más conocidas en esta dirección. En la medida que se deja atrás el supuesto de que somos agentes laplacianos sin restricciones de memoria o capacidad de computación tenemos que reconocer la importancia del tipo de razonamiento situado que se describe usualmente como «heurístico».[5] Un razonamiento heurístico no tiene que responder a un tipo particular de representación. Es más, estudios recientes en robótica sugieren que la cognición humana, en la medida que es capaz de resolver problemas en tiempo real y de manera eficiente, utiliza lo que algunos llaman «cognición empotrada» (*grounded cognition*).[6] Podemos ver cómo este tipo de trabajo se compromete con la heterogeneidad de las representaciones partiendo de uno de los trabajos pioneros en este campo. Hace unos veinte años, Rodney Brooks propuso que la única manera en la que se iba a poder superar el *impasse* existente entonces en la inteligencia artificial para el desarrollo de inteligencia autónoma y capaz de resolver situaciones no triviales de interacción con el mundo, era reconociendo lo que él llamó una «inteligencia sin representación». Brooks proponía un tipo de inteligencia basado en lo que él llamó «sistemas reflejos», que respondían de manera independiente a determinados tipos de problemas. Un «agente» consistiría en muchos de esos sistemas que de manera independiente resuelven determinados problemas. Una señal puede pasar de un sistema a otro pero los diferentes sistemas no comparten estados. Si bien un sistema puede inhibir determinados resultados o suprimir determinados insumos y de esa manera cambiar el comportamiento global. En un sentido importante no puede hablarse aquí de una «representación». No hay explícitamente fines, planes o modelos del mundo exterior. Pero implícitamente, por lo menos, parece que *tiene* que haberlos. El mismo Brooks reconoce esto. La manera de formular más apropiadamente el punto de vista de

5. Esta tradición, que en una de sus vertientes principales viene de las famosas investigaciones de Kaheman y Tversky en los años setenta, hoy en día se desarrolla en varias direcciones. La psicología evolucionista y las propuestas de racionalidad acotadas de Simon a Gigerenzer son diferentes líneas de esta tradición.

6. Para un panorama de las diferentes propuestas de este tipo, ver Anderson 2003.

Brooks no es que puede haber inteligencia sin representación, sino que puede haber representaciones «que son modelos parciales del mundo» (Brooks 1991). Es pues claro que lo que Brooks rechaza es la idea de representaciones que requieren un procesador central que modela el mundo de manera homogénea. En lugar de la unificación en la representación de los diferentes insumos provenientes de los diferentes sistemas, Brooks piensa que los diferentes sistemas integran sus representaciones parciales a través de la manera particular en la que se van jerarquizando en el tiempo para resolver problemas y adaptarse de esa manera a un determinado medio ambiente. De esta manera debe de entenderse la famosa frase de Brooks según la cual «el mundo es su mejor modelo». Es sólo en la interacción con el mundo como el agente va realmente teniendo modelos del mundo, modelos parciales, que muchas veces son heterogéneos. A grandes rasgos, dos representaciones son heterogéneas cuando sus maneras de representar el mundo no pueden verse como formando parte de una representación más amplia que las incluye a los dos sin pérdida de información o poder explicativo.

Un segundo tipo de consideración proviene del reconocimiento de la importancia de la heterogeneidad de representaciones en razonamientos usuales en la ciencia. Este es el tipo de consideración esgrimida por Bairwise (Allwein y Bairwise 1993). La idea de fondo es que en el diseño de un chip de computadora, por ejemplo, tienen que conjugarse diferentes tipos de consideraciones. Tiene que tenerse en cuenta el papel que va a jugar en control, puertas lógicas y cuestiones de tiempo, por lo menos. Los ingenieros responden a esas diferentes consideraciones utilizando tres diferentes tipos de representaciones. Tablas de estado para la representación del control, diagramas de circuitos para la representación de información de puertas (*gates*), y diagramas de tiempo para la representación del tiempo. Cada una de estas representaciones (claramente homomórficas) tiene sus propios estándares de interpretación. Una línea en un diagrama representa una conexión entre puertas, en otra representa transiciones posibles entre estados, y en otra el valor en un cable en el tiempo. Lo principal es que estas representaciones heterogéneas son importantes para resolver un mismo problema, pero no podemos pensar que esas representaciones son parte de una representación más completa respecto a la cual esas tres representa-

ciones son parte. Los diferentes estándares juegan un papel en el razonamiento que lleva al planteamiento del problema. En la medida que hacemos compatible esas representaciones perdemos las propiedades de la representación que nos es útil en el planteamiento del problema. En otras palabras, la incompatibilidad de los estándares de interpretación de los diferentes diagramas representa algo importante en el mundo, algo que tenemos que tener en cuenta para poder plantear el problema de manera apropiada.[7]

Esta incompatibilidad de los diagramas apunta hacia algo distintivo del razonamiento con diagramas, apunta precisamente a un sentido importante en el que el uso de diagramas en el planteamiento de un problema o como recursos para entender cómo se integran diferentes saberes, es diferente de unificación. Los diagramas, por lo menos en el sentido que nos interesa aquí recalcar, no pueden entenderse como representaciones que modelan partes compatibles del mundo, sino más bien deben entenderse como representaciones empotradas en una interacción, o serie de interacciones con el mundo, que a través de su incompatibilidad nos permiten integrar diferentes representaciones («modelos parciales») en relación a un fin que en última instancia es entendimiento.

Veamos otro ejemplo. Feyman nos dice que Kepler encontró que cada planeta da vueltas alrededor del Sol en una curva llamada elipse. Además se dio cuenta de que los planetas no van con velocidad uniforme, sino que se mueven más rápido cuando están más cerca del Sol, y más despacio conforme están más lejos. Supongamos que observamos un planeta en dos tiempos sucesivos, con una semana de diferencia, digamos, cuando el planeta está bastante cerca del Sol (véase la figura 2). Los dos radio vectores limitan una cierta área plana (que corresponde al área barrida de cuando el planeta pasa de la posición *c* a la posición *d*).

---

7. La heterogeneidad de las representaciones es un rasgo distintivo (aunque no necesariamente exclusivo) de las representaciones manipuladas en el razonamiento con diagramas. La heterogeneidad es el origen de la «tensión» a la que Netz se refiere cuando dice que hay una tensión entre texto y diagrama. Pero una tensión similar puede darse entre diagramas, como vemos a continuación.

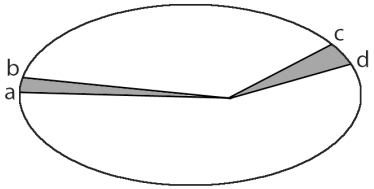


FIGURA 2. Diagrama para mostrar la Ley de Kepler de las áreas iguales

Si hacemos otra observación similar cuando el planeta está más lejos del Sol (el área barrida del punto *a* al punto *b*) lo que nos dice la ley es que las áreas en ambos casos son la misma. Ahora bien, la Ley de Kepler integra conocimiento que proviene de la geometría euclidiana, con ciertos principios básicos de mecánica newtoniana. Pero esta integración no une simplemente dos tipos de representación. En realidad la integración es bastante compleja y si nos detenemos a examinarla encontramos incompatibilidades importantes. Por ejemplo, se asume que los planetas son puntos, que las fuerzas actúan sobre un punto, que el espacio es homogéneo y que los planetas giran en planos que permiten representar la órbita como una elipse plana. Todos estos supuestos son, bien vistas las cosas, falsos.

No obstante, la integración anterior de un saber sobre geometría plana, con un saber sobre mecánica genera entendimiento. Pero el entendimiento, como en el caso anterior de los circuitos eléctricos, tiene que verse como teniendo una dimensión teleológica, el entendimiento presupone el tipo de situación o problema que queremos entender. Los planetas giran en órbitas más o menos planas, pero no «realmente» o «exactamente» planas. Podemos entender entonces que *lo que logra la integración de un saber geométrico con un saber sobre mecánica newtoniana no es una mera descripción de la realidad, sino la orientación de saberes de forma tal que constituyen un saber sobre el movimiento de los planetas que va más allá de las leyes de Newton sobre la mecánica y más allá de la geometría euclidiana*. Un saber que podemos usar de manera integrada para entender la estructura física del mundo y en particular la astronomía planetaria.

Y para concluir quiero brevemente referirme al famoso diagrama que presentó Darwin en el origen de las especies (véase figura 3).

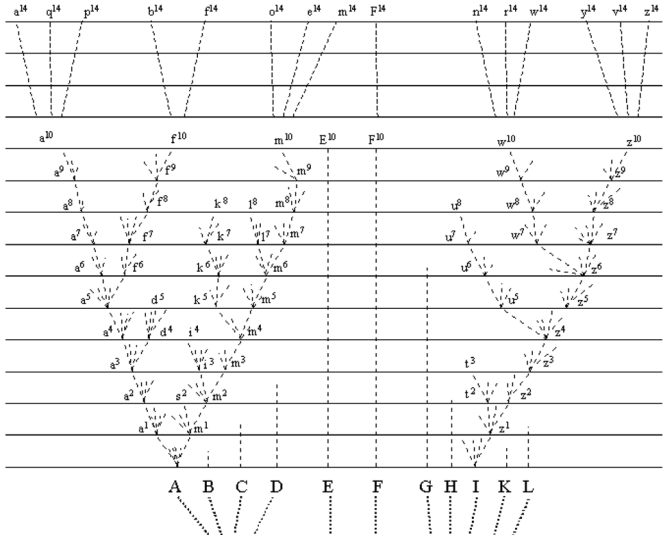


FIGURA 3

En este diagrama podemos ver resumido el argumento central de *El origen de las especies*. Diferentes saberes sobre genealogía, fisiología, geografía, geología, embriología, etc., pueden verse como integrados en el sentido que esos diferentes saberes pueden verse como recursos que utilizados de cierta manera y en cierto orden nos permiten entender la historia de la vida y la diversidad de formas vivientes, lo que a su vez nos permite mejorar nuestro conocimiento de saberes específicos, sobre la embriología, por ejemplo. El diagrama, sin embargo, no es un resumen ni un modelo. Es una manera de entender todos esos diferentes saberes como integrados en una manera de plantearse los problemas. El diagrama sigue siendo útil no simplemente para exponer la teoría de Darwin, sino también como parte de una interpretación crítica del árbol filogenético, que a su vez nos sirve de guía en el planteamiento de posibles relaciones fructíferas entre avances en diferentes áreas de la biología, y más allá, por ejemplo a través del desarrollo de explicaciones de fenómenos sociales basadas en modelos evolucionistas. Como dice Wimsatt acerca de la utilidad de la teoría falsa de Darwin sobre la herencia, el diagrama juega un papel importante en sugerirnos limi-

taciones y relaciones entre diferentes tipos de saberes, limitaciones y relaciones que es importante entender.[8] El razonamiento diagramático es particularmente útil en organizar diferentes tipos de conocimiento en un todo orgánico y con sentido que es fácilmente comunicable, si conocemos los estándares interpretativos que guían la interpretación del diagrama.

Logramos avanzar el entendimiento en la medida que se establecen criterios de interpretación del diagrama que nos permiten identificar aspectos relevantes de una imagen (que constituyen el diagrama) con aquellos aspectos o propiedades abstractas de complejas interacciones entre saberes que hemos aprendido a reconocer como importantes para el avance del entendimiento, a través de teorías, experimentos, modelos, etc. Este tipo de retroalimentación entre saberes va de la mano del reconocimiento de las propiedades relevantes del tipo de cosas sobre las que se constituye un saber.

Referencias bibliográficas

ALLWEIN, G. y J. BARWISE (eds.) (1993), *Working Papers on Diagrams and Logic,* Technical Report, Indiana University Logic Group, Visual Inference Laboratory. Bloomington.

ANDERSON, M.L. (2003), «Embodied Cognition: A Field Guide», *Artificial Intelligence,* vol. 149, parte 1, pp. 151-156.

BROOKS, R. (1991), «Intelligence without Representation», en *Artificial Intelligence*, vol. 47, pp. 139-159.

CARTWRIGHT, N. (1989), *Nature´s Capacities and their Measurement,* Clarendon Press, Oxford.

CHERNIAK, C. (1986), *Minimal Rationality (A Bradford Book)*, The MIT Press, Cambridge.

ELGIN, C. (2007), «Understanding and the Facts», *Philosophical Studies* vol. 132, n.º 1, pp. 33-42.

FRIEDMAN, M. (1974), «Explanation and Scientific Understanding», en *The Journal of Philosophy*, vol. LXXI, n.º 1 (enero), pp. 5-19.

8. La relación entre genómica y evolución es un buen ejemplo contemporáneo de cómo el razonamiento diagramático puede jugar un papel en el avance de la ciencia. La evolución puede ser mejor entendida en la medida que tenemos una mejor idea de las secuencias genómicas. A su vez la genómica puede avanzar en la medida que la evolución guía la reconstrucción de las secuencias. Este tipo de retroalimentación entre saberes es precisamente el tipo de avance del entendimiento que consideramos preeminente.

GOODMAN, N. (1976), *Languages of Art, An Approach to a Theory of Symbols*, 2.ª ed., Hackett, Indianápolis.
GREAVES, M. (2002), *The Philosophical Status of Diagrams*, CSLI Publications, Stanford.
HEMPEL, C. (1965), *Aspects of Scientific Explanation, and Other Essays in the Philosophy of. Science,* The Free Press, Nueva York.
KITCHER, P. (1993), *The Advancement of Understanding*, Oxford University Press, Oxford.
LIPTON, P. (1991), *Inference to the Best Explanation*, Routledge, Londres, Nueva York.
MARTÍNEZ (2008), «Diagrams and Scientific Understanding», texto presentado en el coloquio *La Preuve par l'Imaje*, París, abril de 2008.
MILLER, N. (2007), *Euclid and His Twentieth Century Rivals: Diagrams in the Logic of Euclidean Geometry,* Chicago Umiversity Press, Chicago.
NETZ, R. (1999), *The Shaping of Deduction in Greek Mathematics*, Cambridge University Press, Cambridge.
NORMAN, J. (2006), *After Euclid: Visual Reasoning and the Epistemology of Diagrams,* CSLI Publications, Stanford.
RUDWICK, M. (1985), *The Great Devonian Controversy*, University of Chicago Press, Chicago.
SALMON, W. (1984), *Scientific Explanation and the Causal Sructure of the World*, Princeton University Press, Princeton.
SMITH, P. (2006), «Art, Science, and Visual Culture in early Modern Europe», *Isis,* vol. 97, n.º 1, pp. 83-100.
WIMSATT, W. (1987), «False Models as means to Truer Theories», en M. Nitecki y A. Hoffman (eds.), *Neutral Models in Biology,* Oxford University Press, Londres, pp. 23-55.
— (2007), *Re-engineering philosophy for Limited Beings: Piecewise Approximations to Reality,* Harvard University Press, Cambridge.
WISE, N. (2006), «Making Visible», *Isis,* vol. 97, n.º 1, pp. 75-82.

LA REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LAS INTERACCIONES CAUSALES

Hernán Miguel
Universidad de Buenos Aires

Introducción

La temática filosófica sobre la causación hunde sus orígenes más allá de la cultura griega antigua. Sin embargo, con la propuesta de Hume (1748), la discusión toma la forma que puede reconocerse aún en nuestros días. Según esa propuesta, podemos decir que *a* causa *b*, si todos los eventos del primer tipo son seguidos de eventos del segundo tipo. Es así que se inicia una corriente regularista en la que la relación de causación se asocia fuertemente con la relación entre tipos de eventos. Esta corriente regularista, más tarde, dará lugar a una nueva corriente que intentará analizar la causación en términos de relaciones físicas entre los eventos en cuestión.

Por otra parte, Hume mismo agrega como formulación alternativa, que *a* causa *b* si en caso de no haber ocurrido *a* no habría ocurrido *b*. Esta formulación, que para Hume representa lo mismo que la formulación anterior sólo que lo hace «con otras palabras», dará lugar a la corriente que analiza la causación en términos de condicionales contrafácticos.

Entre las propuestas que sobreviven con un nivel aceptable de dificultades no resueltas, se encuentran las dos corrientes mencionadas, v. g., las teorías físicas de la causación y las teorías contrafácticas de la causación. Ambas teorías, además de su formulación pormenorizada sobre cuáles son las notas distintivas de la causación, incluyen información gráfica que permite la comparación y análisis de diferentes tipos de casos.

Incluso la representación gráfica de los casos y de los tipos de casos puede coincidir a pesar de que las teorías pretendan anali-

zarlos con diferentes herramientas. Esta característica es muy importante en el momento de las discusiones ya que tales representaciones son un elemento indispensable para medir el éxito que una y otra teoría tienen al dar cuenta de cada caso puesto como ejemplo. Más aun, disponer de una representación común de un problema, aun frente a la diferencia de abordaje teórico marcaría un avance importante en la discusión.

En este trabajo me propongo mostrar que la ventaja de obtener una representación común ha venido acompañada de una desventaja en el nivel de discriminación del tipo de caso del que se trata. Y esta deficiencia puede, en varias ocasiones, distorsionar el tipo de análisis que se pueda realizar. Particularmente, muchos aspectos que son cruciales para un pormenorizado estudio de casos conflictivos, son dejados de lado en tales representaciones y de ese modo los diagramas y esquemas guían de manera equívoca el análisis que parece aplicárseles.

En particular, se presentan y analizan como ejemplos paradigmáticos de esta situación de deficiencia en la representación dos tipos específicos: los que incluyen eventos y estados de cosas entre las causas o los efectos y para cuya distinción las representaciones no disponen de rasgos diferenciales; y los que se refieren a causas por omisión o por desconexión y que redundan en casos en los que la diferencia entre causar y dejar que ocurra es relevante para la agrupación de diferentes casos bajo un mismo tipo de análisis.

Diagramas causales cualitativos

En primer lugar podríamos pretender representar la relación de causación de modo que se rescaten los tres elementos que están en juego: la causa, el efecto y su conexión. De un modo más general, querríamos que se rescatara que hay elementos que juegan el papel de causas, otros elementos que juegan el papel de efectos, y que hay una relación que los conecta de algún modo. Es decir, aun cuando aceptemos que por lo general la relación de causación no alude a una sola causa (la causa) sino a varias, lo que es esencial a la representación es poder distinguir cuáles de los elementos juegan este papel y cuáles otros juegan el papel de efectos. Cualquier representación que no pudiera distinguir esto sería deficiente desde sus comienzos.

Es cierto que al existir más de una causa para la aparición u ocurrencia de un efecto, sería importante representar en qué grado cada una de las causas contribuye a la ocurrencia del efecto. En este sentido sería deseable que el diagrama o representación gráfica incluyera información de los grados de contribución aportados por cada una de las causas que han estado presentes para la ocurrencia del efecto. Pero esta característica debe entenderse como un segundo paso en la representación. El paso inicial consiste en poder representar cuál o cuáles episodios son causas de cuáles otros no lo son. Y es en este sentido que podemos abordar en esta primera etapa el objetivo de representar las relaciones causales con herramientas cualitativas y dejar para una etapa posterior una representación cuantitativa.

La discusión actual sobre la causación sigue utilizando, en la mayoría de los casos, diagramas cualitativos. Aun frente a los diagramas cualitativos encontramos una variedad de discusiones en torno a la sobredeterminación causal, los epifenómenos y otras características de interés, cuyas dificultades no parecen estar asociadas al problema del grado de contribución. Por este motivo, aun cuando un diagrama causal cualitativo no incluya información que pudiera ser de interés, puede utilizarse para un amplio espectro de problemas para los cuales esa información es totalmente irrelevante al momento de tomar partido por las diferentes soluciones. Con esto queremos poner de relieve que el estatus cualitativo de un diagrama o representación no es *per se* una deficiencia, sino un límite. Que se haya omitido la información referida a los grados de contribución de cada una de las causas que han sido representadas puede muy bien no tener consecuencias en las conclusiones que se persigan en el análisis del caso. Por este motivo es fundamental tratar de establecer diagramas causales cualitativos adecuados en vez de sumarse rápidamente a su rechazo para intentar remplazarlos por diagramas cuantitativos, como si estos últimos pudieran modificar las conclusiones erradas que se extraían de los primeros. Como venimos enfatizando, es importante tener presente que la mayoría de las discusiones entre las distintas teorías de la causación involucran solamente la necesidad de diagramas cualitativos, y por tanto todo intento de superación debe primero resolver las diferencias de interpretación y análisis de estos diagramas antes de dar el paso a la faceta cuantitativa.

Es interesante notar que muchos de los diagramas causales cualitativos aparecen como herramienta de comunicación sencilla de maniobras y operaciones. Es así como encontramos que Martin Frost (1995) presenta un manual para aprender las diferentes maniobras de malabarismo (figura 1).

Más allá de lo anecdótico de este dato, debe tenerse en cuenta que la representación gráfica en este caso incluye varios presupuestos. Por un lado las flechas marcan la dirección y el sentido en los que la clava será dirigida de uno a otro malabarista. A su vez, los números están asociados a cierto tipo de compás, es decir, cada número indica un instante o momento dentro de una secuencia periódica. También se incluyen los datos de cuál mano es la que debe arrojar y recibir el objeto. Vale la pena notar que se distinguen las flechas o indicaciones causales por un lado, y las trayectorias por otro. Es decir, que un diagrama causal con estas características puede muy bien entenderse como suficientemente abstracto como para representar la relación pretendida sin confundirla con la trayectoria que está dada por la contigüidad del

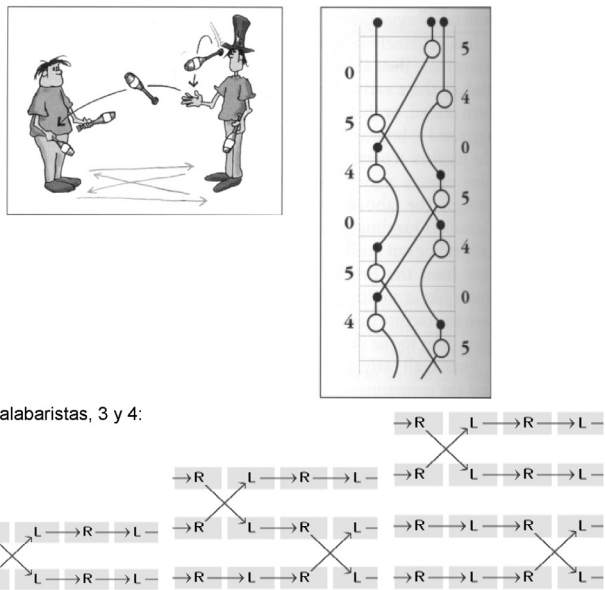


FIGURA 1. Diagramas para malabaristas

movimiento, característica típica de la causación, e indispensable para una de las corrientes que intenta comprenderla y analizarla.

Mientras que estos diagramas se utilizan para comunicar acciones de agentes humanos, encontramos otros diagramas que representan la influencia causal que diversos aspectos del entorno se ejercen mutuamente. En la figura 2 se reproduce un diagrama que representa esa interrelación utilizada en textos del área de agricultura (Arranz, Garcillán, Pérez y Soto 1997).

Notemos que el diagrama no muestra la interacción entre eventos sino la interacción entre diferentes variables o aspectos de una escala de grano grueso. Por ejemplo, comenzando desde el extremo superior izquierdo y dirigiéndonos hacia el centro del diagrama, encontramos que se señala la temperatura como uno de los factores que tiene incidencia en las condiciones climatológicas iniciales.[1] Estas condiciones climatológicas a su vez influyen sobre los procesos de siembra y germinación. Tales procesos inciden, por su parte, sobre el crecimiento de los retoños, lo cual contribuye a la producción esperada. En este recorrido breve vemos a grandes rasgos cuáles aspectos se relacionan con cuáles otros. Pero no estamos representando un diagrama de eventos que causan otros eventos sino familias de eventos que suelen estar relacionados o correlacionados con eventos de otra familia. Tampoco es clara la manera en que están relacionados en el sentido de que no se registra si hay correlación positiva o negativa, estadística o universal, etcétera. Sencillamente el diagrama, podría decirse, indica la relevancia de ciertos aspectos en referencia a otros. Dado que tampoco tiene la aspiración de representar exhaustivamente las relaciones causales (a pesar de que sus autores lo presentan como un diagrama causal), no será de nuestro interés mostrar sus límites. Simplemente queremos puntualizar que este tipo de diagramas, aun cuando pueda cumplir roles didácticos para transmitir las hipótesis de relevancia para el estudio de este tema de agricultura, no es el tipo de diagrama que se va a necesitar para una discusión entre las diferentes teorías causales. A pesar de esta advertencia es también imprescin-

1. Esta formulación de contribución o causa podría criticarse mencionando que la temperatura *constituye* parte de las condiciones climatológicas en vez de causarlas. Pero no es el punto de interés. En todo caso se puede comenzar por otro de los aspectos que no sea pasible de esta objeción.

dible notar la utilidad de los mismos en diferentes áreas de la ciencia, y por lo tanto no podíamos dejar de darles un lugar como a otros que aparecen en disciplinas como la sociología y la medicina, por ejemplo, y que pasamos a reseñar brevemente.

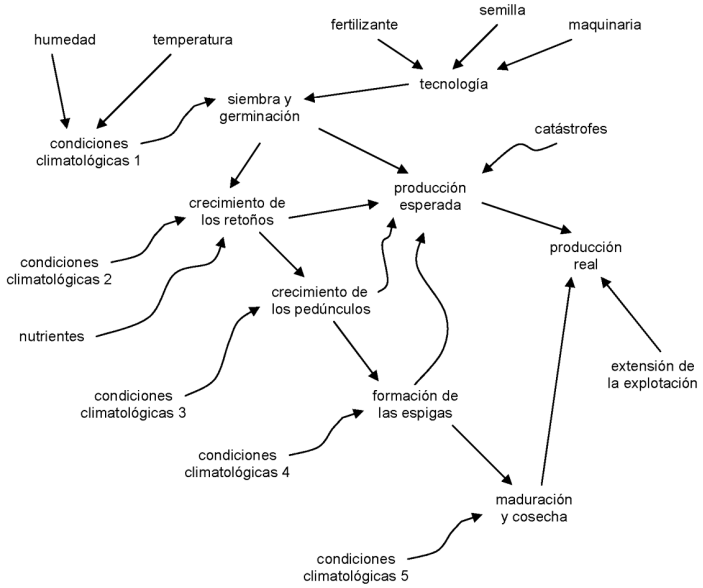


FIGURA 2. Interacciones causales entre diversos aspectos de la agricultura

En diversos estudios sociológicos aparecen diagramas causales que representan la influencia de un aspecto sobre otro. La figura 3 representa la influencia que tiene el prestigio de la ocupación del padre en la educación de su hijo, y a su vez ésta en el prestigio de su propia ocupación profesional, prestigio que también recibe influencia directa del prestigio de la ocupación de su padre (extraído de Blau y Duncan 1967).

Es claro que este diagrama es muy sencillo para representar la multicausalidad y la sobredeterminación que, aun cuando es moneda corriente en ciencias naturales, es un aspecto innegable en las ciencias sociales.

Es interesante notar que los científicos sociales creen encontrar estas características sólo en las ciencias sociales. Comparan

de este modo sistemas abiertos en ciencias sociales con sistemas físicos como el choque de dos bolas de billar. Baste mencionar que la física se ocupa no sólo de sistemas sencillos como el péndulo o los choques entre bolas de billar, sino también de sistemas como vórtices, huracanes, fluidos sometidos a diferentes campos de fuerzas, superposición de interacciones, etcétera. Todo lo cual ha llevado a la física a tratar desde hace ya siglos con el problema de la complejidad, la sobredeterminación causal y la multicausalidad. La situación es más clara si se toma como ejemplo la biología que tampoco puede restringirse al estudio de sistemas exentos de tales características. Sin duda, el desacierto en la comparación se debe, en parte, a que se toman sistemas simples de las ciencias naturales para ser comparados con sistemas complejos de las ciencias sociales. Un análisis de otras causas para tal desacierto excedería el marco de este trabajo.

Volviendo a nuestro tema de interés, podemos ver que se hace necesario sofisticar los diagramas de manera que aparezcan realimentaciones positivas y negativas entre indicadores más sencillos que el macroaspecto *prestigio de la ocupación del padre*.

Aparecerán los análisis multivariados, factoriales, etcétera.

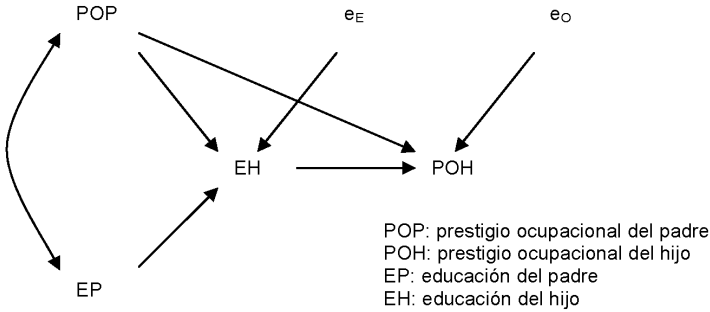


FIGURA 3. Diagrama causal en sociología

En particular, cuando se trate de representar las conexiones entre variables que no son pasibles de ser establecidas por una medición simple, será necesario echar mano a diagramas en los que tales variables «latentes» se relacionan con las variables manifiestas, que son aquellas para las que efectivamente contamos con indicadores simples y confiables. Es así que surgen modelos que

representan la conexión entre las variables manifiestas y las latentes, y otros que representan las conexiones entre las variables latentes. Así los primeros de estos diagramas se refieren a relaciones entre aspectos medibles y otros inferidos o construidos a partir de varios indicadores, mientras que los segundos representan las conexiones entre los distintos aspectos inferidos.

La figura 4 muestra la representación entre variables latentes (elipses) y manifiestas (rectángulos) para un ejemplo abstracto. Nótese que puede haber correlaciones entre variables manifiestas y a su vez se intenta representar la conexión entre variables latentes que son establecidas a través de conjuntos de variables manifiestas.

El valor de la medición (e_{X1}, e_{X2}, ...) de cada una de las variables manifiestas (X_1, X_2, ...) nos brinda información proveniente de una macrovariable o variable latente X. El diagrama entonces muestra de este modo la relación entre las variables latentes y las manifiestas. Pero el diagrama también muestra la relación entre las variables latentes intentando mostrar que X tiene cierta correlación con Y_1 y con Y_2. También el diagrama muestra las correlaciones entre las medidas de las variables manifiestas.

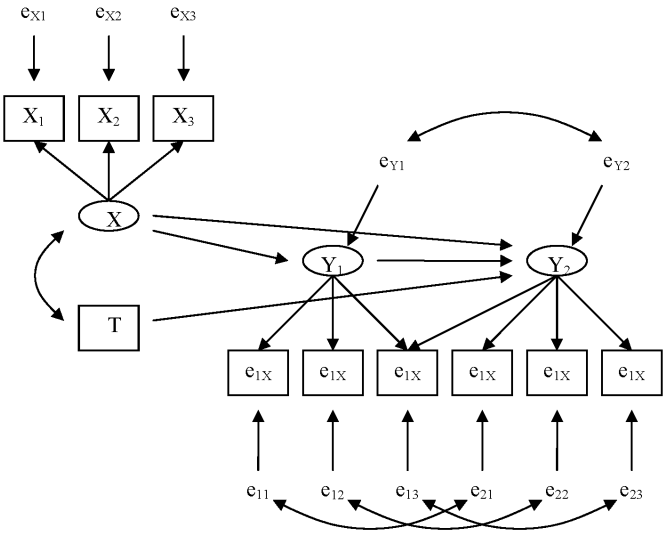


FIGURA 4. Diagrama con variables manifiestas y latentes

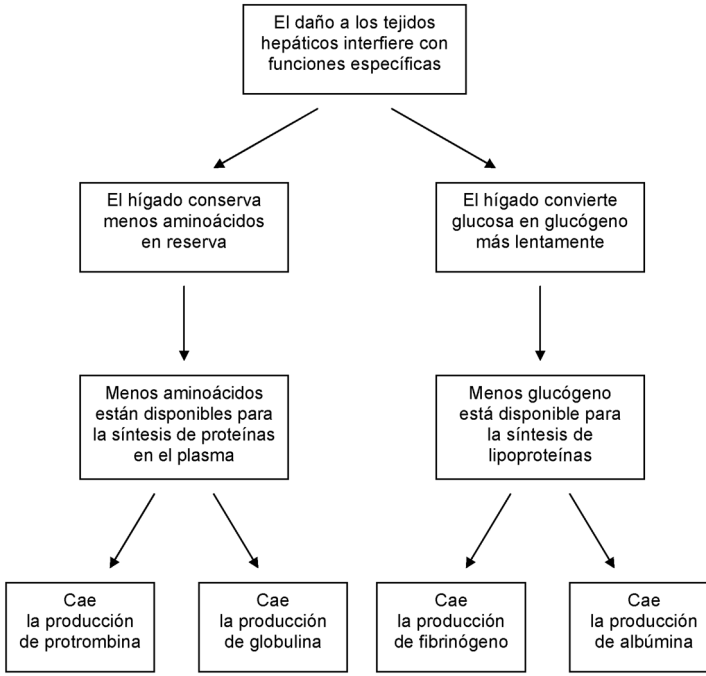


FIGURA 5. Diagrama causal de los efectos producidos por un daño en el hígado

En el área de medicina también encontramos de manera habitual el uso de diagramas similares al que hemos analizado en párrafos anteriores. En la figura 5 se reproduce un diagrama (Kim, Yopchick y Kwaadsteniet 2008) en el que se indican la diversidad de efectos causados por cierto daño ocasionado al hígado.

Notemos, en comparación con los diagramas analizados anteriormente, que se indica el tipo de influencia de un aspecto sobre el otro, mencionando si el peldaño anterior hace aumentar o disminuir la variable del peldaño siguiente. De este modo, la información en el diagrama no solamente registra cuáles aspectos están conectados causalmente sino también el signo de la correlación. Esta característica es un acercamiento a una representación cuantitativa de las conexiones causales.

Diagramas causales cuantitativos

En el modo en que la información se ha intentado volcar en los diagramas causales anteriores, parece evidente que el siguiente paso en la sofisticación de la representación debería ser la inclusión del grado de influencia de una variable sobre otra. Esto es, dar el paso a la cuantificación de la conexión causal.

En la figura 6 se reproduce un diagrama en el que se pretende representar en qué grado ciertas condiciones o aspectos sociales contribuyen a la ocurrencia de una revolución (Little 1998).

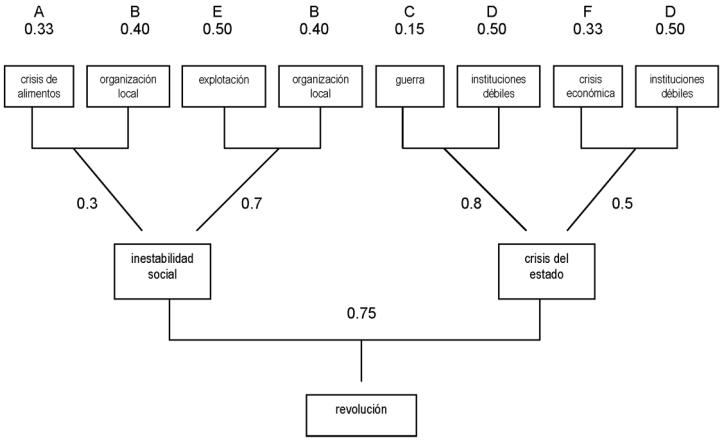


FIGURA 6. Diagrama causal cuantitativo en ciencias sociales

Los valores con los que cada peldaño de la cadena causal y cada una de las causas en cierto nivel de la cadena contribuyen a la ocurrencia del peldaño siguiente o de uno de los eventos señalado en el nivel siguiente, se indican en la línea que une tales peldaños. Como el lector puede prever, para poder definir tales contribuciones, disponemos de dos caminos alternativos. O bien contamos con una teoría que nos asegura en qué grado cierto aspecto como una guerra, por ejemplo, contribuye a una crisis en el estado, o bien disponemos de una muestra de varios casos clasificables como del mismo tipo, y de ese modo podemos registrar cuál es el porcentaje de casos dentro de esa clase en los que se advierte la ocurrencia del presunto efecto. De hecho, estas dos alterna-

tivas son las mismas que están disponibles para la confección de diagramas cualitativos. Ambas alternativas tienen sus dificultades y no nos detendremos en las críticas que se pueden alzar en su contra. Baste decir que en ciertas disciplinas alguna de estas dos alternativas puede estar más arraigada o justificada. Por ejemplo, en el caso de los cálculos que llevan a establecer cuáles aspectos y con qué grado contribuyen a la probabilidad de que una estrella culmine su vida con una explosión de supernova la alternativa más arraigada es la del cálculo teórico. En cambio, en la corriente llamada «medicina basada en la evidencia» la alternativa por la que fijamos los valores de las contribuciones proviene de la inspección de un enorme volumen de datos clasificados por aspectos que muestran su prevalencia en la conformación de un determinado cuadro clínico.

Notemos que elegir la alternativa en la que los valores de contribución pretendidamente causal vienen dados por las correlaciones nos enfrenta con el tan conocido problema de los epifenómenos. La correlación y su grado no indican en sí mismas que la conexión sea causal. En referencia a este problema la alternativa de justificar cierto grado de contribución causal sobre la base de cierta teoría le lleva ventaja. La teoría presupone, brinda respaldo o bien ofrece argumentos para la conjetura del mecanismo causal. La simple correlación, no.

Diagramas neuronales

Desde que la discusión sobre la causación volvió a ocupar un espacio considerable en la bibliografía de filosofía de la ciencia, especialmente gracias a la propuesta de David Lewis (1973*a*, 1973*b*) de dar cuenta de ella por medio de condicionales contrafácticos, es habitual representar las relaciones causales con diagramas neuronales. Me refiero a tales diagramas con esta nomenclatura porque en desarrollos paralelos de inteligencia artificial tales diagramas constituyen la manera en que ciertos nodos activan o inhiben a ciertos otros nodos, reproduciendo una estructura simplificada de lo que, se entiende, constituye el entramado neuronal.

Tales diagramas constan de unos pocos símbolos (ver figura 7). Los elementos o nodos de la red están conectados por lí-

neas. Esos nodos representan episodios que pueden ser eslabones de cadenas causales. Cuando los nodos están grisados (rellenos) entonces representan episodios que han ocurrido. Si los nodos están en blanco (vacíos) representan episodios que no han ocurrido, *episodios por omisión*.

Las líneas que unen o conectan nodos en la red pueden ser de dos tipos. Las que se indican con una flecha, son conexiones activadoras o disparadoras. Estas conexiones muestran que el nodo anterior hace que ocurra, o bien, causa que ocurra el nodo siguiente en la secuencia. El segundo tipo de conexión es del tipo inhibidor y se lo indica con una línea que termina en un punto, o bien con una línea que termina en un segmento transversal. Según este segundo tipo el nodo previo inhibe al nodo siguiente, o bien, el nodo previo impide o evita que ocurra el nodo siguiente.

Hasta aquí la nomenclatura y la convención parecen ser breves y sencillas para reconstruir la gran diversidad de casos a los que se pretende dar cabida en una teoría de la causación.

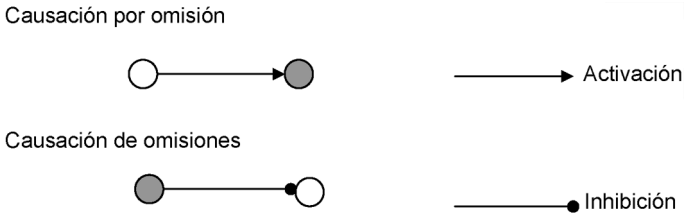


Figura 7. Ocurrencias, omisiones, activación e inhibición

Con estas herramientas sencillas podemos representar, entre otras cosas, problemas típicos que deben enfrentar las teorías causales, como el de la sobredeterminación causal, por ejemplo. Los casos de sobredeterminación causal son casos en donde dos o más causas están presentes respecto de cierto efecto. De este modo hay algunas dificultades que resolver para poder decidir cuál o cuáles de las causas efectivamente dieron lugar al efecto y cuáles otras, no.

Entre los casos de sobredeterminación podemos distinguir en principio los casos de sobredeterminación causal asimétrica de los simétricos. En estos últimos, no hay ninguna diferencia por la cual se pueda decir que una causa tuvo éxito en producir el efecto

y otra no. Tales casos fueron dejados de lado en las primeras discusiones por no haber intuiciones firmes para guiar el análisis, y fueron retomados recién a finales del segundo milenio.[2] Dentro de los casos de sobredeterminación causal asimétrica queda claro que una de las causas tuvo éxito en producir el efecto mientras que la otra ha quedado anticipada. El desafío entonces consiste en encontrar una manera en que las teorías puedan dar cuenta de tales casos, a pesar de que es falso que «de no haber ocurrido la causa (exitosa), no se habría producido el efecto». Esto es, el condicional contrafáctico que relaciona la causa con el efecto es falso y por tanto, bajo la segunda formulación humeana, y de acuerdo con cualquier teoría contrafáctica de la causación, deberíamos aceptar que la causa (que tuvo éxito) no produjo el efecto.

Esta es una de las características que paradójicamente se cita como obstáculo en ciencias sociales para hablar de causas. La paradoja consistiría en que por una parte la mayoría de los contrafácticos resultan falsos en ciencias sociales y entonces se podría tener la impresión de que no se pueden describir las relaciones causales con este tipo de condicionales, e incluso se podría llegar a sostener que esa dificultad indicaría la inexistencia de una perspectiva causal en esas disciplinas. Por otra parte, la mayoría de los contrafácticos resultan falsos en virtud de que la complejidad del mundo social nos enfrenta con varias situaciones y episodios que confluyen de un modo superpuesto para dar lugar a que ocurra cierto hecho que podríamos asociar con el efecto. De modo que los contrafácticos no resultarían ser falsos por no haber causación sino por haber demasiadas causas disponibles para un mismo efecto: Juan asistió a la reunión y fue compañero de borrachera de Pedro. El condicional «si Juan no hubiera asistido, Pedro no se habría emborrachado» suele tomarse como falso ya que Pedro habría encontrado fácilmente otros amigos con las «virtudes» de bebedor que tiene Juan.[3]

---

2. Schaffer (2003) retoma este problema que fue dejado de lado por Lewis (1973*b*).

3. Debe señalarse que hay otra manera de llegar al rechazo de la perspectiva causal a partir de la falsedad de los condicionales contrafácticos. Según esta otra posición los contrafácticos resultan falsos porque siempre que se enuncia un antecedente que no ha ocurrido en ciencias sociales, sólo se puede concluir que *podría* (*might*) haber ocurrido el hecho referido en el consecuente, y jamás se podría concluir o garantizar que el hecho *habría* (*would*)

Sin adentrarnos en las maneras en que las teorías contrafácticas pretenden solucionar estas dificultades, observemos que hay diferentes modos en que una de las causas (que identificamos como la que tuvo éxito) pueda ganar de mano o dejar sin efecto a las otras en competencia. Por ejemplo, supongamos que dos galanes, Valentino y Casanova, se proponen seducir a una doncella. Valentino planea leerle una poesía cerca de la ventana de la doncella. Casanova planea rescatarla de una situación de peligro. Casanova para ello debe montar la situación de peligro para luego entrar en escena. Es así que incendia todos los jardines que rodean la casa de la doncella para poder rescatarla con ayuda de su capa ignífuga. Valentino con la poesía en sus manos no ha podido siquiera acercarse a la ventana rodeada de fuego, de modo que Casanova culmina su objetivo y la doncella queda totalmente enamorada de su héroe.

En este episodio vemos que el mismo accionar de Casanova interrumpe de modo temprano el accionar de Valentino al impedirle siquiera acercarse a la ventana. En este sentido podemos hablar de una *anticipación temprana* (*early preemption*). Algún peldaño del curso causal que finalmente tuvo éxito tiene como efecto colateral el haber interrumpido al otro curso causal en algún peldaño previo de modo que el segundo curso causal no llega a tener chance de producir el efecto.

En otros casos esta interrupción no tiene lugar y el curso causal que no fue exitoso, se desarrolla hasta unos pocos instantes previos a la ocurrencia del efecto. Por ejemplo, si una pareja de pistoleros, Bonnie y Clyde, están practicando tiro apuntando a una botella y Bonnie dispara de modo que la bala alcanza la botella justo unos segundos antes de que la bala de Clyde llegue a la botella, diremos que fue el disparo de ella la causa de la rotura de la botella y que su bala ganó de mano o anticipó a la de Clyde. Dado que la bala de Bonnie de ningún modo interrumpe el trayecto de la bala de Clyde, no se trata de una anticipación temprana. Más bien, hasta último momento no hay ningún peldaño intermedio en el que los dos cursos causales interfieran

---

ocurrido. En esta otra perspectiva el condicional «si Juan no hubiera asistido a la reunión, Pedro no se habría emborrachado» resulta ser falso porque no está determinada la conducta de Pedro para el caso de que Juan no hubiera asistido. Juan podría haber decidido emborracharse igualmente aun estando solo, o *podría* no haberse emborrachado

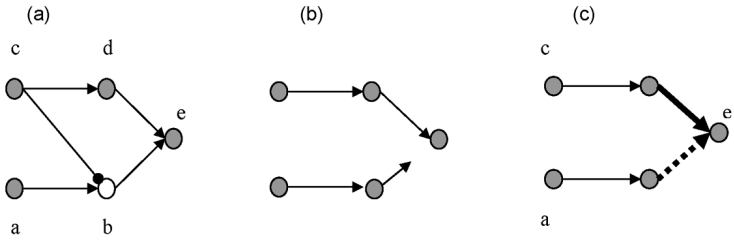


FIGURA 8. Sobredeterminación causal asimétrica: (a) anticipación temprana; (b) anticipación tardía; (c) anticipación triunfadora

uno con otro.[4] Por este motivo podemos identificar estos casos como de *anticipación tardía* (*late preemption*).

Un tercer tipo de anticipación fue introducido por Jonathan Schaffer (2000). Esta nueva clase de situación tiene como característica que una de las causas (la exitosa) prevalece sobre la otra en virtud de alguna prioridad que no es temporal y que tampoco consiste en interrumpir el curso causal en competencia. El ejemplo original es como sigue. En un mundo mágico existe una ley según la cual a media noche se cumple el primero de los maleficios que se haya proferido en el día. Cierto día, Merlín a mediodía expresa «que el príncipe se transforme en sapo». A las 6 p.m., Morgana expresa lo mismo. Efectivamente el príncipe, a medianoche, se transforma en sapo, y dadas las condiciones del ejemplo, queda claro que la causa de tal metamorfosis fue el maleficio de Merlín y no el de Morgana. No se trata de una anticipación temprana o tardía ya que no hay interrupción del curso causal de Morgana por parte del de Merlín, ni es cierto que hasta un instante antes del efecto ambos cursos causales están vigentes. Schaffer sugiere que es un tipo de *anticipación triunfadora* o triunfante (*trumping preemption*) en el que uno de los cursos causales triunfa sobre otro de un modo similar al que en los juegos de naipes ciertas cartas tienen un valor especial capaz de superar al resto. En la figura 8 se presentan los diagramas de los diferentes tipos de sobredeterminación asimétrica.

4. El mismo Lewis (2000) analiza la perturbación gravitatoria diminuta que podría tenerse en cuenta como alteración, pero esto no constituye una interrupción del curso causal de la bala que no tuvo éxito.

Prevenciones y omisiones

Con estas mismas herramientas también podemos representar casos más interesantes para el análisis como, por ejemplo, cursos de acontecimientos inhibitorios que previenen cierto efecto no deseado (prevención), o bien omitir cierto curso de acción que habría evitado ese efecto no deseado y por lo tanto esa omisión tiene como resultado que el efecto finalmente ocurra (omisión de prevención), o bien casos en los que un curso causal impide o interrumpe aquel que habría evitado el efecto no deseado (doble prevención). A continuación exponemos esquemáticamente varios casos combinados.

Prevención (figura 9 izquierda):
(a_1) Pepe arroja una piedra que romperá el vidrio de una ventana (a_3) que se encuentra más allá de una cerca.
(b_1) Juan salta y (b_2) atrapa la piedra antes de que pase por encima de la cerca (a_2).

Doble prevención (figura 9 derecha):
(a_1) Suzy comanda un bombardero que descargará sus bombas exitosamente en la ciudad enemiga (a_3).
(b_1) Un avión caza enemigo vuela a interceptar a Suzy para evitar que ingrese en la zona urbana (a_2).
(c_1) Johny, el avión escolta de Suzy, derriba al avión caza (b_2) y así evita que intercepte a Suzy.

La conclusión es que (c_1) la acción de Johny es causa de (a_3) que Suzy tenga éxito en su bombardeo. Y esta conclusión se ob-

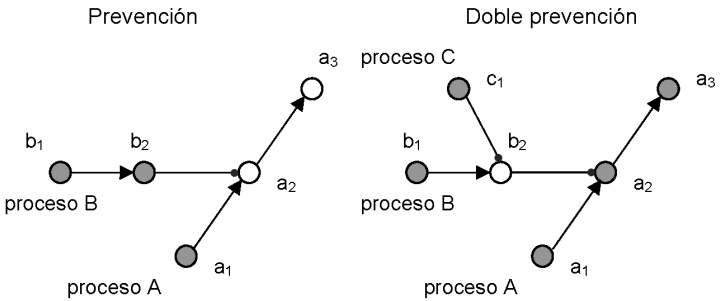


FIGURA 9. Prevención y doble prevención

tiene en virtud de que es verdadero el condicional «Si Johny no hubiera derribado al avión caza, Suzy no habría soltado sus bombas exitosamente sobre la ciudad enemiga» ($\sim c_1 \,\Box\!\!\rightarrow \sim a_3$).

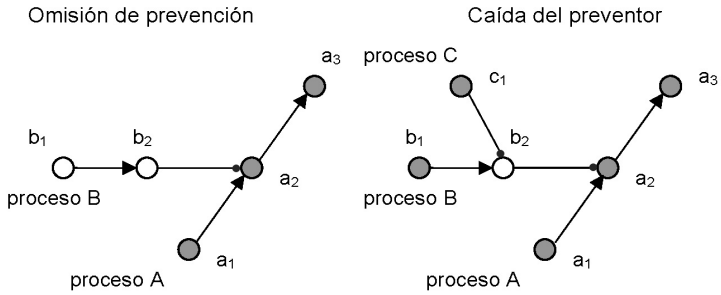


FIGURA 10. Omisión de prevención y caída de un preventor

Omisión de colocar un preventor (figura 10 izquierda):
(b_1) El gobierno omite enviar al inspector al local de espectáculos.
(b_2) El inspector no obliga a retirar el material inflamable y tóxico.
(a_1) Juan prende una bengala.
(a_2) El fuego alcanza al material inflamable y tóxico.
(a_3) Se producen víctimas fatales.
Es verdadero que «si el gobierno no hubiera omitido enviar al inspector, no se habrían producido víctimas fatales» ($\sim b_1 \,\Box\!\!\rightarrow \sim a_3$).

Caída de un preventor (figura 10 derecha):
(b_1) El gobierno envía al inspector al local de espectáculos.
(c_1) El dueño soborna al inspector.
(b_2) El inspector no obliga a retirar el material inflamable y tóxico.
(a_1) Juan prende una bengala.
(a_2) El fuego alcanza al material inflamable y tóxico.
(a_3) Se producen víctimas fatales.
Es verdadero que «si el dueño no hubiera sobornado al inspector, no se habrían producido víctimas fatales» ($\sim c_1 \,\Box\!\!\rightarrow \sim a_3$)

Esta representación gráfica tiene un rasgo que vale la pena resaltar: no hay diferencia entre una situación y la otra respecto del proceso A. Comenzamos a ver que ciertas partes o subsistemas de la situación en estudio son independientes de las diferencias que relatamos. Esto podría muy bien ser un resultado bienvenido si es que tal independencia es realmente un aspecto que no queda objetado desde alguna otra perspectiva.

Lo que es fundamental destacar aquí es que de ambos diagramas surge que el proceso A se desarrolla en ambas situaciones exactamente del mismo modo. El diagrama permite extraer conclusiones de manera sencilla. Estas conclusiones podrían también extraerse del texto, pero lo fundamental es que el diagrama ya contiene la información para obtener este resultado comparativo.

Ahora bien, tomemos como casos de comparación los siguientes dos antecedentes de condicionales contrafácticos (ejemplo tomado de Miguel y Paruelo 2007):

> Si hubiera desaparecido la capa de ozono...
> Si no hubiera habido capa de ozono...

El primero indica la caída de un preventor (recordemos que la capa de ozono funciona como un filtro para la radiación ultravioleta, de modo que puede entenderse que es un preventor de cierto efecto de los rayos UV sobre la piel).

El segundo antecedente se refiere a la omisión del preventor. Mientras que el primer antecedente permitiría razonablemente concluir que habría aumentado la estadística de enfermedades de la piel, el segundo más bien nos obliga a imaginar una situación en la que ni siquiera la biota habría sido la misma que conocemos. El primer antecedente representa un mundo posible en el que habiendo habido capa de ozono como hasta ahora, en cierto momento esa capa desaparece y entonces entre las consecuencias de esa desaparición debemos incluir el paso de la radiación UV directamente desde el Sol hasta la piel de los seres vivos. El otro antecedente remite a una situación en la que jamás hubo capa de ozono y por tanto no podemos incluir en esa situación hipotética la existencia de los seres vivos tal como los conocemos en la actualidad. Es decir que, aun cuando muchas de las situaciones parecían equivalentes[5] entre la omisión de prevenir y la caída del preventor, esa equivalencia no se puede sostener para ciertos casos. Todo parece indicar[6] que el tratamiento de

5. Dowe (2000: 138), sostiene que hay una relación en espejo entre preventores y omisiones. De esta relación surge la equivalencia que mencionamos entre omitir y retirar un preventor.

6. Se argumenta a favor de esta conclusión en Miguel y Paruelo (2007).

los condicionales contrafácticos debería ser diferente según se trate de un antecedente que se refiere a un evento, un episodio que ocurre en un momento o instante suficientemente localizado, o según se refiera a un hecho extendido en el tiempo, asociable más bien a un estado de cosas que a un evento.

Este es un buen momento para detenernos en la representación gráfica. Nada en las representaciones gráficas indica cuáles nodos representan eventos y cuáles nodos representan estados de cosas. Es así que los diagramas neuronales tienen ya una limitación que impedirá reconocer la diferencia que hemos obtenido en el análisis de los párrafos anteriores. No sólo el diagrama permitirá extraer conclusiones, sino que también esas conclusiones pueden ser totalmente contrarias a un análisis pormenorizado si es que el diagrama omite las diferencias esenciales que son necesarias para la obtención de conclusiones diferentes.

Dos ejemplos más son muy sugerentes de la necesidad de un análisis más detallado y de una representación gráfica diferente. Imaginemos que una crecida ha llevado el embalse a su nivel más alto y la estructura del dique estuvo a punto de ceder. Evaluemos ahora los dos siguientes contrafácticos:

> Si se hubiera roto el dique, el pueblo que está río abajo habría sido destrozado por el agua.
>
> Si no se hubiera construido el dique, el pueblo que está río abajo habría sido destrozado por el agua.

La verdad del primer condicional parece indiscutible ya que la rotura del dique habría liberado toda el agua del embalse, y esa masa líquida habría destrozado las casas. Sin embargo, esa situación no tiene por qué darse en el segundo condicional. Si no hubiera habido un dique, entonces a lo sumo las lluvias habrían producido una crecida e inundado la zona, pero de ningún modo tenemos por qué imaginar que el pueblo queda destrozado, además de húmedo.

El segundo ejemplo es el que produce mayor interés. Una persona tiene serias dificultades para respirar de modo que de no ser conectada a un respirador artificial, morirá. Ayer tuvo un episodio agudo de su enfermedad y efectivamente se le colocó un respirador y sobrevivió. Los condicionales de interés son:

Si anoche se le hubiera desconectado el respirador, habría muerto.

Si anoche se hubiera omitido conectar el respirador, habría muerto.

Aun cuando ambos condicionales parecen verdaderos, será necesario encontrar diferencias en la representación gráfica y en la manera de analizarlos. De otro modo no podremos distinguir los casos de acciones que llevan a la muerte, de omisiones que por su carácter de omisión de prevención, no impiden el curso hacia la muerte.

Anticipación en la prevención

Habíamos ya señalado que hay cursos causales que pueden anticipar a otros. Así puede haber causas en competencia y una de ellas (en el caso de la sobredeterminación asimétrica) tiene éxito y deja sin efecto a las demás, que quedan como simples cursos causales de *back up*.

El ejemplo de McDermott (1995) es como sigue. Un niño arroja violentamente una pelota en dirección al vidrio de una ventana. Dos amigos se aprestan a atrapar la pelota. El primero lo logra de modo que previene la rotura del vidrio y anticipa la prevención del segundo (figura 11).

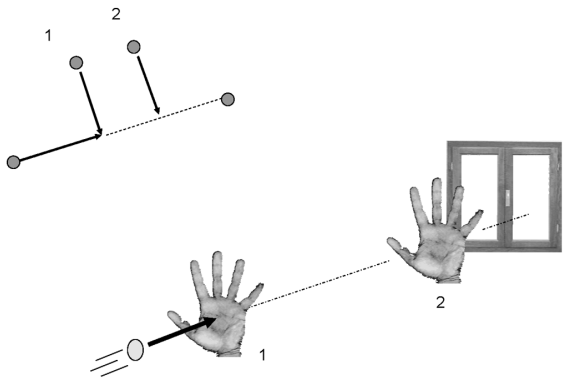


FIGURA 11. Anticipación en la prevención: dos niños dispuestos a atrapar la pelota

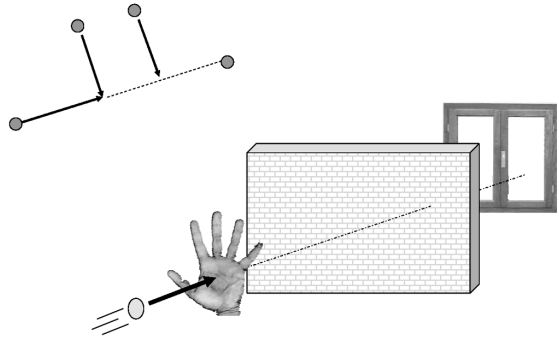


FIGURA 12. Anticipación en la prevención: niño y muro

A continuación McDermott analiza una variante del ejemplo. Supone que no hay dos niños preparados para atrapar la pelota sino que hay un muro en vez del segundo niño. En esta situación (figura 12) también el primero atrapa la pelota y así el muro, que podía prevenir la rotura del vidrio, no actuó efectivamente como preventor sino que fue anticipado por el niño que atajó la pelota.

Esta segunda situación es diferente en al menos un aspecto importante: el muro existente allí constituye un estado de cosas en contraposición con la segunda atrapada de la pelota (que aunque no ocurre, habría constituido un evento). El mismo McDermott no está seguro de que las intuiciones para esta configuración sean igual de firmes respecto a que la primer atrapada es un preventor de la rotura del vidrio, como efectivamente le parecía en la primera configuración.

Realicemos nosotros una modificación más en la configuración. Imaginemos el caso en el que el niño preparado para atrapar la pelota se encuentra entre el muro y la ventana (figura 13). En esta última configuración parece realmente difícil pensar que el intento de atrapada de la pelota por parte del niño actúa como un preventor, aun cuando de no haber estado el muro, efectivamente habría sido así.

Una vez más, el diagrama neuronal que representa las distintas situaciones no contiene información de las diferencias que podrían moldear de modo diverso las intuiciones, y por tanto tales representaciones proveen una plataforma de contrastación

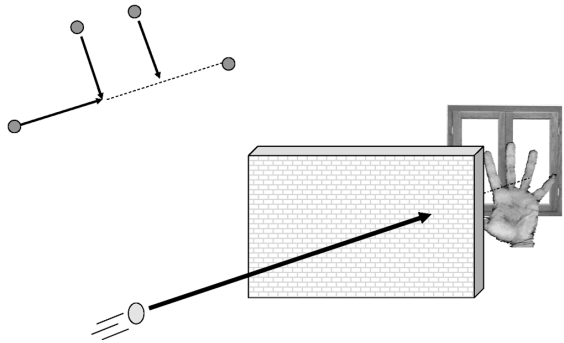


FIGURA 13. Anticipación en la prevención: muro y niño

que no resulta ser confiable en la puesta a prueba de las diferentes teorías que intenten dar cuenta de estos casos.

Podemos concluir en esta sección que los diagramas utilizados habitualmente no son eficaces en representar los aspectos que involucran dificultades en el análisis, enmascarando tres casos diferentes bajo una misma representación y dando una aparente base firme para extraer conclusiones que en un análisis más profundo no resultan avaladas totalmente por las intuiciones que usamos para validar las teorías.[7]

Analicemos dos casos más de anticipación de la prevención. El primer caso consiste en que un niño arroja piedras a los aviones que pasan en lo alto de su jardín, a unos miles de metros de altura (figura 14). El niño, como el lector ya habrá advertido, no ha podido dar en el blanco nunca. El niño está convencido de que no ha tenido éxito debido a su mala puntería. El padre advierte que el niño arroja piedras a los aviones y lo encierra en la casa para evitar una catástrofe aérea.

En este caso hay dos preventores en pugna: el campo gravitatorio y el padre. La presencia de campo gravitatorio impide que las piedras lleguen a los aviones. El padre intenta impedirlo pero ya el campo gravitatorio ha hecho la tarea.

---

7. Es preciso notar que; en las discusiones entre propuestas teóricas que intentan dar cuenta de la causación; es moneda corriente que se utilice la intuición para determinar si en los casos más paradigmáticos las teorías dan como resultado lo que intuitivamente se espera. De otro modo deberían rechazarse, y de allí la idea de contrastación que se adjudica a la intuición.

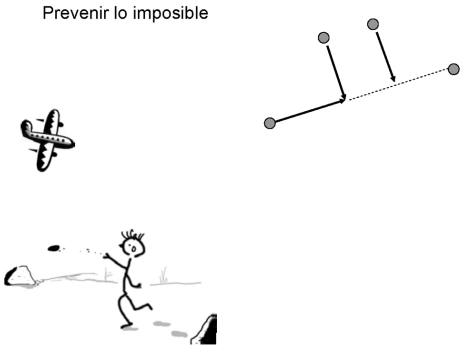


FIGURA 14. Anticipación de la prevención: campo gravitatorio y padre

Lo que parece realmente extraño en esta manera de presentar el ejemplo es que el campo gravitatorio cumpla el papel de preventor. En algún sentido su carácter de preventor le es adjudicado en virtud de que es verdadero el contrafáctico «si no hubiera habido campo gravitatorio, las piedras habrían hecho impacto en los aviones» y a su vez, en esas condiciones, la acción del padre habría constituido el único preventor posible.

Parecería que no hay nada imposible sino que lo imposible lo es en virtud de algún preventor. Podríamos incluso imaginar que no es imposible viajar a más de la velocidad de la luz, sólo que la textura del espacio tiempo es un preventor para ello. El caso más extremo de prevención (en este especial sentido que preferiría conservar como imposibilidad) estaría dado por el mismo principio de no contradicción: dado que una entidad no puede tener la propiedad A y ~A al mismo tiempo, entonces si cierta entidad presenta en un momento la propiedad ~A, no podrá presentar la propiedad A, y entonces la propiedad ~A es un preventor de la propiedad A.

El último ejemplo de anticipación de la prevención tiene varios aspectos diferentes (aunque sigue teniendo el aspecto de prevenir lo imposible como en el caso anterior), y sin embargo tiene la misma estructura en su representación gráfica.

Un asesino se propone atentar contra un presidente. Para ello compra un rifle y se ubica a cierta distancia de donde pasará la limusina presidencial. Rodean al automóvil del presi-

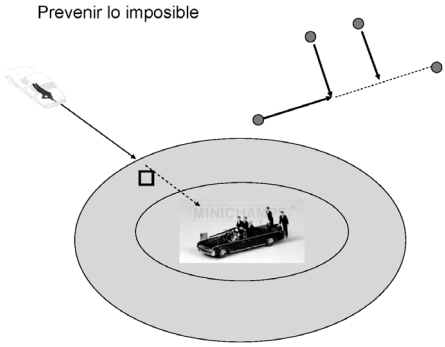


FIGURA 15. Anticipación de la prevención: rozamiento con el aire y guardaespaldas

dente dos anillos de guardaespaldas, uno más cerca y uno más alejado (figura 15). Cuando el asesino lo tiene en la línea de tiro, dispara. Uno de los guardaespaldas del anillo exterior se interpone y su pecho recibe la bala que le causa la muerte. El peritaje posterior revela que el rifle con que se disparó esa bala tiene un alcance máximo que cubre la distancia desde el francotirador hasta un punto entre los dos anillos de guardaespaldas. Es decir que la bala, de no haber sido interceptada por el pecho del guardaespaldas inmolado, no habría llegado al presidente.

El rozamiento con el aire es capaz de hacer perder cantidad de movimiento a la bala hasta resultar ser inocua antes de que alcance el blanco. Sin embargo el rozamiento con el aire no ha tenido la oportunidad de prevenir el atentado. El guardaespaldas realizó el trabajo de frenar la bala.

Notemos que hay toda una serie de diferencias[8] entre los casos de la pelota que se dirige hacia la ventana, el niño que tira piedras a los aviones y el atentado al presidente. Sin embargo todas estas diferencias no aparecen en la representación gráfica estándar que se realiza sobre la base de diagramas neuronales.

8. El tratamiento de estas diferencias excedería el marco del presente trabajo.

Representación gráfica de eventos y estados de cosas

Está claro que muchas de las deficiencias o límites puestos en evidencia en las secciones anteriores provienen de no tener una representación gráfica que rescate la diferencia entre eventos y estados de cosas. Se podría intentar entonces una representación tal que pudiera distinguirlos. En la figura 16 se indica, en un diagrama espaciotemporal, la manera en que pueden representarse eventos y estados de cosas. Y en la figura 17 se muestran tanto la representación gráfica en diagramas neuronales que se venía utilizando, como la representación gráfica que se obtiene al distinguir eventos de estados de cosas. En particular, el muro en el ejemplo de la pelota que se dirige a la ventana, es un estado de cosas extendido en el tiempo y extendido en dos de las dimensiones del espacio.

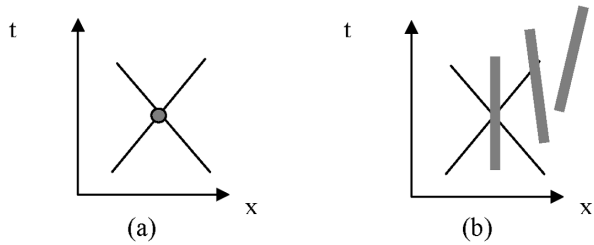


FIGURA 16. Representación gráfica de (a) eventos; y (b) estados de cosas

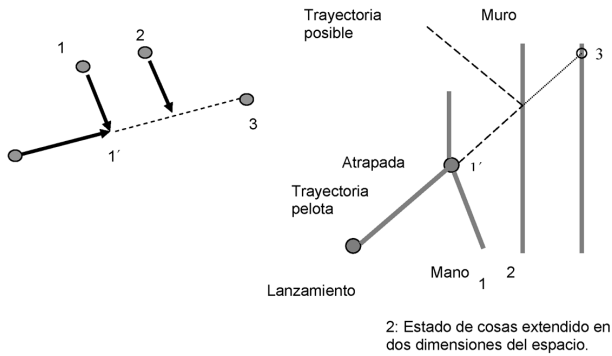


Figura 17. Comparación entre representaciones

Mejorando la representación gráfica

La figura 18 muestra la representación gráfica correspondiente al caso analizado anteriormente en el que se arroja una pelota en dirección a una ventana que está detrás de un muro y la pelota es atrapada antes de llegar al muro (tomando la convención de las figuras anteriores en donde la posición vertical se corresponde con los instantes y la horizontal, con las posiciones). Vemos que el evento *atrapada de la pelota* se representa por un punto en el espacio tiempo mientras que *el muro* se representa por una *línea mundo*[9] que se extiende verticalmente (posición fija que perdura en el tiempo). La trayectoria de la pelota y de la mano, previamente a atrapar la pelota, se representan como líneas inclinadas, es decir, objetos que ocupan diferentes posiciones en los diferentes instantes. En esta nueva representación vemos que se puede distinguir perfectamente un evento (cruce de líneas) de un estado de cosas (líneas).

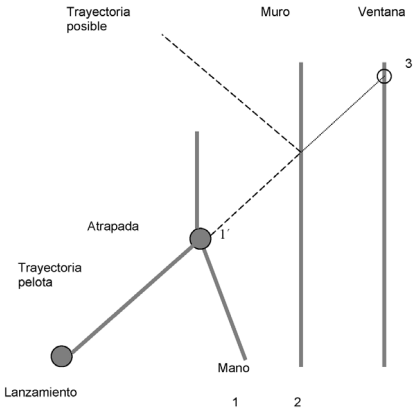


FIGURA 18. Representación gráfica distinguiendo eventos de estados de cosas para el caso del muro

9. Las líneas mundo representan procesos. En el caso de la existencia de un muro en cierto lugar del espacio, el proceso «el muro estando allí» es representado por una línea vertical, es decir, paralela a la coordenada temporal y por lo tanto indica que el objeto representado no se traslada en el espacio. En cambio, el proceso de la «pelota viajando» en cierta dirección está representado por una línea inclinada y su inclinación indica la velocidad con la que se traslada.

El muro constituye un estado de cosas en dos dimensiones (ancho y alto), aunque en la representación no ha sido necesario registrar esa característica. Adicionalmente el espesor parece resultar relevante para el análisis y tampoco queda representado.

Podemos visualizar ahora que, dada la existencia del muro, la trayectoria posible de la pelota más allá del punto en que fue atrapada es dirigirse hasta el muro y rebotar en él. Esta trayectoria posible está marcada por una línea de trazos. También se puede visualizar que es imposible el tramo que va desde el muro a la ventana. Por este motivo el acto de atrapar la pelota parece más bien un intento de «prevenir lo imposible». De no haber ocurrido la atrapada eficaz, la pelota habría rebotado en el muro y por lo tanto, la atrapada previno que la pelota rebotara en el muro y no previno que rompiera el vidrio de la ventana como parece indicar el diagrama neuronal original. Atribuirle a la atrapada el rol de preventor proviene de tomar en consideración una parte del relato que distorsiona nuestras intuiciones y es aquella en la que se menciona que la pelota «es lanzada en dirección a una ventana».[10]

Vale la pena resaltar un contraste entre el texto y la nueva representación gráfica. El texto citado distorsiona la manera de evaluar la posibilidad de ocurrencia del efecto y consiguientemente justifica el papel de preventor que se atribuye a la acción de atrapar la pelota, y esta distorsión es acompañada por el aspecto de preventor que rescata la representación original en el diagrama neuronal. En cambio, la nueva representación no permite la atribución del papel de preventor a la atrapada de la pelota. Sencillamente la atrapada impide que la pelota rebote en el muro y no que llegue a romper el vidrio de la ventana. No solamente el análisis se facilita con el cambio en la representación al mejorar la capacidad de discriminación entre eventos y estados de cosas sino que el diagrama mismo es capaz de corregir distorsiones originadas en el texto inicial.

---

10. Si se compara el caso de los dos niños pretendiendo atrapar la pelota con este otro caso en el que el muro remplaza al segundo niño, vemos que la intuición para asignar el rol de preventor a la atrapada se debilita al realizar el remplazo. Mientras que en el presente trabajo se centra el análisis en la diferencia entre evento y estado de cosas, José Díez Calzada (en comunicación personal) sostiene que es el carácter de infalibilidad que tiene el muro en no dejar pasar la pelota lo que hace debilitar la atribución de preventor a la atrapada.

Abordemos con estas herramientas una variante del segundo ejemplo, referido al niño que arroja piedras a los aviones. La variante consiste en que, en vez de que el padre del niño intervenga, se interpone un pájaro en el trayecto de la piedra de manera que la piedra golpea al pájaro y no continúa su trayectoria libremente.[11] Como hemos señalado reiteradamente el diagrama neuronal no rescata el carácter preexistente del campo gravitatorio y la imposibilidad de que se obtenga el efecto buscado (que la piedra haga impacto en un avión). La figura 19 muestra la nueva representación para este caso.

Los dos presuntos preventores en competencia son el campo gravitatorio y el cruce del pájaro con la piedra. En el relato notamos que el campo gravitatorio no ha actuado como preventor ya que, mucho antes de que la piedra perdiera energía cinética (asociada a su velocidad) debido a la influencia del campo gravitatorio sobre ella, el pájaro la ha interceptado, desafortunadamente para él, y de este modo evitó que la piedra siguiera en dirección hacia el avión. Un análisis que rescatara los roles de prevención en competencia debería asignar al pájaro[12] el de haber sido el preventor que efectivamente tuvo lugar y al campo gravitatorio el rol de preventor de *back up* o preventor anticipado (*preempted*).

Para poder representar al campo gravitatorio que disminuye con la altura[13] ha sido necesario incluir una simbología adicional que consiste en un grisado que disminuye gradualmente de izquierda a derecha en la figura tomando convencionalmente tal dirección y sentido como el del crecimiento de las alturas. De acuerdo a esto, el evento del lanzamiento de la piedra está ubicado a izquierda (cerca de la superficie terrestre), el choque de la piedra con el pájaro ocurre a la derecha del lanzamiento (a cier-

---

11. Con esta modificación el ejemplo se hace más similar al del atentado al presidente, y de este modo podemos prever cómo será la representación gráfica nueva para ese ejemplo también.

12. Hablando estrictamente debería asignárselo al evento *choque de la piedra con el pájaro*.

13. Se puede objetar que la disminución de la intensidad del campo gravitatorio no es relevante para el ejemplo, y eso es cierto. En ese caso se debería graficar entonces la existencia del campo gravitatorio como un grisado homogéneo. Pero tal representación podría pasar inadvertida y parecer un simple fondo grisado para el resto del diagrama.

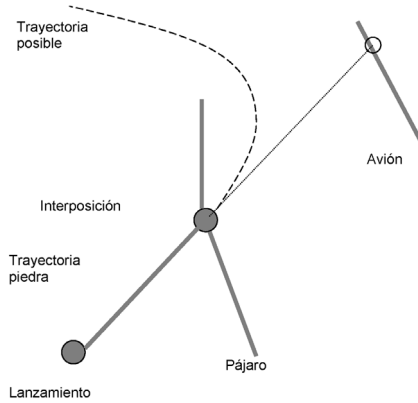


FIGURA 19. Representación gráfica distinguiendo eventos de estados de cosas para el caso del campo gravitatorio

ta altura sobre él) y la trayectoria del avión está todavía más a la derecha (a mayor altura). El motivo por el cual es imprescindible graficar el campo gravitatorio de un modo extendido como el grisado elegido es que se trata de un estado de cosas que ocurre en las tres dimensiones espaciales.

Estas innovaciones en la representación permiten obtener distintos resultados que los que naturalmente surgían del diagrama neuronal. Por un lado se aprecia, al igual que con el caso del muro, que la trayectoria posible de la piedra es una parábola de tiro que no tiene intersección con la trayectoria del avión. Por este motivo, también al igual que en el caso del muro, es dudoso atribuirle al choque del pájaro con la piedra el carácter de preventor de que la piedra hiciera impacto en el avión. Por otra parte, eliminado ese carácter de preventor también se elimina la sensación de que hay dos preventores en conflicto y se desdibuja la noción de anticipación de la prevención. Finalmente también parece dudoso que la presencia del campo gravitatorio pueda entenderse como un preventor de que la piedra alcance al avión, a pesar de que es cierto que «de no haber existido el campo gravitatorio, la piedra habría alcanzado al avión». Los condicionales contrafácticos parecen ser demasiado inclusivos y sugerir un fundamento a la atribución de roles de prevención a todo aquello que hace imposible la ocurrencia del evento.

Un ejemplo bastante claro que mostraría que los condicionales contrafácticos pueden dar pistas no confiables para asignar roles de prevención, es como sigue: en una batalla por la defensa de la galaxia una nave de la confederación dispara a una nave enemiga en medio del espacio exterior. Se ve por la escotilla que el misil hace impacto en la nave y explota dando un resplandor cegador. No se escucha ningún ruido proveniente de la explosión ya que no hay ningún medio que pueda transmitir las ondas de presión que caracterizan al sonido. Es cierto que si hubiera habido aire, la explosión se habría escuchado, por lo que alguien podría argumentar que el vacío del espacio sideral, o la ausencia de aire constituyen un preventor del ruido.

Esta conclusión sería como mínimo paradójica porque para que exista un ruido debe existir también un medio que propague las ondas de presión, de modo que al no existir ningún medio no tiene sentido pensar que eso ha impedido la transmisión del ruido. De paso, notemos que en este ejemplo el candidato a preventor es una omisión, y por lo tanto se hace más difícil sostener que tal omisión prevenga algo.

La receta para lograr el contraejemplo es sencilla. Para la ocurrencia de cada efecto se pueden identificar varias condiciones necesarias, algunas pueden no estar presentes y entonces el efecto no ocurre. Pero su ausencia entonces no debe tomarse tan a la ligera como un preventor del efecto.

Ejemplos similares se obtienen si se considera que, entre los animales sexuados, los machos tienen cromosomas XY, mientras que las hembras tienen cromosomas XX.[14] El ejemplar A es hembra, y podemos decir que «si A hubiera tenido cromosomas XY, no habría sido hembra» pero es dudoso que «tener cromosomas XY» es un preventor de ser hembra (o que «tener cromosomas XX» es un preventor de ser macho).

Nuevamente, las condiciones necesarias que no han estado presentes (y a cambio han estado otras) no deberían tomarse como preventores por el solo hecho de que resulten verdaderos los condicionales contrafácticos asociados.

---

14. Téngase en cuenta que estas afirmaciones no son definiciones estipulativas en las que no tenga sentido decir si son verdaderas o falsas. Las definiciones de macho y hembra son previas a la genética clásica.

Problemas persistentes en la representación

Hasta aquí hemos puesto en evidencia que las representaciones gráficas mediante esquemas o diagramas neuronales no rescataban la diferencia entre eventos y estados de cosas. Pero no hemos puesto en duda esta distinción.

El problema de distinguir un evento de un estado de cosas no tiene una solución consensuada y estable. Diferentes teorías sobre qué cosa cuenta como un evento y qué otra cosa cuenta como un estado de cosas tratan de dar respuesta tanto a los casos claros como a los casos conflictivos, pero no siempre esto puede lograrse.

A grandes rasgos los eventos pueden asociarse con la instanciación de cierta propiedad en una región localizada y conexa del espacio-tiempo.[15] El problema que persiste es en referencia a cuán localizada debe ser la región espacio-temporal para contar como un evento y no como un estado de cosas. Por ejemplo, una crisis económica puede contar como un estado de cosas durante el cual las condiciones reinantes dan un marco a las actividades y tienen sus propios efectos. Por otra parte esa misma crisis económica puede analizarse como un evento histórico seguido por ciertos efectos y anticipado por ciertas otras condiciones que hicieron posible su ocurrencia (o incluso que pueden indentificarse como sus causas). Podría pensarse que esta distinción puede ser muy difícil de establecerse para casos específicos de ciencias sociales, pero es imprescindible notar que esta dificultad no es privativa del área social. Si se toma en cuenta un período como una glaciación no caben dudas de que durante ese proceso la glaciación cuenta como un estado de cosas, y ese estado de cosas tiene a su vez sus efectos, como por ejemplo una menor tasa de evaporación en los mares ecuatoriales (otro estado de cosas), o el dejar de humear de cierto volcán (un evento), o la migración de ciertas especies de una zona a otra del continente (otro evento). Por otra parte, si se analiza la glaciación como un proceso que tuvo lugar en cierta época y se tratan de identificar las huellas o efectos que ha dejado en épocas posteriores, podríamos analizar la glaciación como un evento que produjo ciertos efectos. La glaciación X tuvo como

15. Estas características aparecen en la teoría de David Lewis (1986) y también son rescatadas por David Armstong (1997).

consecuencia la extinción de la especie E, parece muy bien entenderse bajo el rubro de causación entre eventos.

El análisis anterior muestra que existe cierta vaguedad que puede amenazar la distinción que se quería rescatar en la representación gráfica. En la figura 20 presentamos los casos extremos a derecha e izquierda representando un evento y un estado de cosas, respectivamente. El episodio de la figura central puede ser tomado como evento o como estado de cosas según la escala en la que lo describimos.

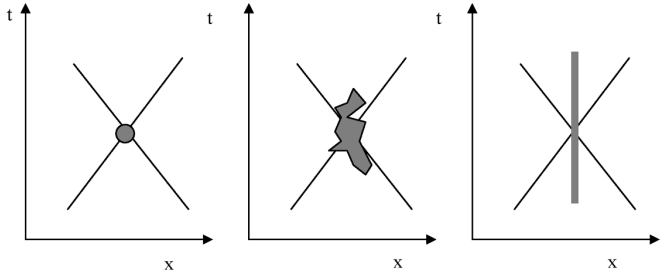


FIGURA 20. Representación gráfica distinguiendo eventos de estados de cosas. Los casos extremos quedan bien discriminados, pero existen casos intermedios

Si se toma como característica de la noción de evento que sea el resultado de una interacción o cruce de líneas mundo (que representan estados de cosas) la situación no mejora. Las líneas mundo que representan estados de cosas pueden tener cierto «espesor» en la gráfica, y si dos o más estados de cosas interactúan de modo que más de una línea mundo gruesa tienen intersección en la gráfica, obtenemos el problema de identificar esa intersección como un evento, en virtud de ser el resultado del cruce de líneas mundo, o como un estado de cosas, en virtud de su extensión en el espacio-tiempo.

Parece aceptable que un cambio en las condiciones existentes debería contar como un evento, aunque el lector atento puede advertir que si el cambio es suficientemente lento podrá tornarse, el mismo cambio, un estado de cosas. Por lo tanto, tratar de atrapar la noción de evento en la noción de cambio tampoco será eficaz para todos los casos.

Quedan siempre los casos extremos. Si un cambio ocurre abruptamente contará como un evento, y si un estado de cosas perdura en el tiempo, contará como un estado de cosas. Pero todo cambio que conlleve un tiempo considerable, podrá calificarse como evento, en virtud del cambio, o como estado de cosas en virtud de que hay ciertas condiciones que permanecen: las condiciones del mismo cambio.

Un caso que grafica lo anterior es el alejamiento de los continentes. Es un hecho bien establecido que los continentes se alejan uno de otro (respecto de su distancia a través del Océano Atlántico, Europa y América, por ejemplo). También es un hecho bien establecido la velocidad, lenta, con la que lo hacen. Esta variable nos coloca en condiciones para tipificar el alejamiento de los continentes como un evento, en el sentido de que es un cambio en las distancias, o bien como un *estado de cosas dinámico* en virtud de la velocidad del cambio, que puede tomarse como la característica que lo define, o la propiedad que se instancia para este caso.

Habría toda una gama de cambios que son pasibles de verse como estados de cosas dinámicos. Cambios en los que la velocidad es constante, otros en los que la aceleración es constante, otros en los que la aceleración no es constante pero obedece a cierta regularidad, y otros en los que la aceleración ni siquiera tiene lugar de acuerdo a ninguna regularidad.

El motivo por el que nos interesa la aceleración es porque es la medida en la que, a su vez, torna el cambio en estudio. Es decir que la aceleración tiene la información del cambio de segundo orden que está ocurriendo en cierta zona del espacio-tiempo.

Con los datos de las propiedades, sus cambios y los cambios de sus cambios, tenemos la información completa de lo que ocurre en cada punto y su entorno,[16] del espacio-tiempo.

Esta información no es otra cosa que una topografía de estados de cosas y sus cambios. Y esa información todavía no ha sido sometida a la distinción evento *vs.* estado de cosas. Es decir que la topografía de lo que ocurre no sufre la dificultad mencionada al principio de esta sección. Esta topografía sería la información

16. Es imprescindible tener información del entorno de cada punto para poder disponer de la información de la velocidad y la aceleración de los cambios.

«en bruto» para luego decidir ciertos recortes que permiten hablar de sistemas y cuáles características de esos sistemas están relacionadas con cuáles otras características de otros sistemas para finalmente afirmar que unas causan las otras. Adicionalmente podremos distinguir cuáles de esas interacciones son de causación entre eventos y cuáles son casos de causación entre estados de cosas (o incluso las otras dos combinaciones).

Una topografía como la reseñada[17] constituye la materia prima de lo que ocurre, aunque en sí misma no contiene información de qué propiedades causan cuáles otras. Al mismo tiempo se puede extender la noción de topografía a una descripción de aquello que no ocurre: las omisiones. Así, dar la información de que en una zona del territorio hace tres meses que no llueve, o referirse a esa situación como de sequía es dar información sobre las omisiones. La topografía completa consistiría en lo que ocurre en el tiempo, lo que ocurre en el espacio y lo que no ocurre tanto en el tiempo como en el espacio. Estas distinciones dan lugar a una clasificación de omisiones.

Si la discusión de la causación en parte alude a la diferente manera de tratar eventos y estados de cosas, y por otra parte, eventos que ocurren pueden tratarse de modos diferentes que eventos negativos u omisiones,[18] entonces nuestra representación gráfica, en ocasiones en donde el análisis es conflictivo debería llegar a rescatar información de tal topografía y así brindar una base firme que no distorsione el análisis de la causación.

El problema que persiste entonces es la libertad de los hablantes en recortar sistemas en esa topografía y en encontrar así relaciones causales entre propiedades, entre objetos con ciertas propiedades y entre valores de las propiedades.

Para fijar ideas respecto de esta situación consideremos por un momento la teoría física de la causación ofrecida por Dowe (2000). Según esta teoría las interacciones causales están dadas

---

17. Se señalan diferentes detalles de esta topografía en Miguel (2005, 2006*a*, 2006*b*).

18. Recuérdese el caso en que se trata la doble prevención. Es dudoso que el hecho de que haber derribado al avión enemigo sea causa del éxito del bombardeo ya que, a pesar de que el condicional contrafáctico es verdadero, se hace imposible mostrar un mecanismo que lleva de este hecho al bombardeo, al haber un peldaño por omisión. Es por eso que las teorías físicas de la causación tienen serios problemas para dar cuenta de la causación con omisiones.

por un cruce de líneas mundo en el que los objetos intercambian cierta cantidad de una magnitud física para la que existe un teorema de conservación. Por ejemplo, una bola de billar blanca hace impacto en la bola roja que estaba en reposo. En ese impacto hay cierta cantidad de la magnitud *cantidad de movimiento* (o también llamada «momento lineal») que intercambian ambos objetos de modo que la bola blanca pierde cantidad de movimiento y la bola roja gana cantidad de movimiento. El teorema de conservación de la cantidad de movimiento nos asegura que lo que gana una bola es exactamente lo que pierde la otra.

Ahora bien, según esta teoría es posible afirmar correctamente que la bola blanca es causa de que la bola roja comience a moverse, que la bola blanca con su cantidad de movimiento es causa de que la bola roja se mueva con su nueva cantidad de movimiento y también que el valor de la cantidad de movimiento de la bola blanca es causa del valor de la cantidad de movimiento de la bola roja. En resumen, es posible adjudicar relaciones de causa-efecto a diferentes tipos de entidades: objetos, objetos con cierta propiedad, o simplemente, propiedades.

Es en este sentido que sugerimos que, sobre la topografía registrada (valores de las magnitudes físicas, objetos en los que se instancian y puntos del espacio-tiempo en donde esa instanciación tiene lugar), los hablantes pueden realizar recortes para definir sus sistemas, las partes de los sistemas y el tipo de elemento que se toma para ocupar los roles causales.[19] Dada esta libertad del hablante y dado que la distinción entre evento y estado de cosas puede también estar supeditada al tipo de descripción elegida por los hablantes, se obtiene como resultado que el relato causal puede depender de estas elecciones y por tanto existen razones para sostener que la relación de causación no es algo enteramente presente en el mundo sino que al menos parte de lo que pensamos encontrar, ya lo hemos puesto nosotros en la descripción.

Pero más allá de esta discusión más general sobre la causación[20] podemos asegurar que si estas diferentes maneras en las que el hablante puede modelar la información pueden dar como

19. Para un análisis más detallado de este problema véase Miguel y Paruelo (2006).

20. Discusión que no constituye el foco de atención del presente trabajo.

resultado conclusiones diferentes para la descripción de la causación, entonces la representación gráfica debe llegar a sustratos más básicos de la información, incluso llegando a la mencionada topografía de estados de cosas. Sólo esa maniobra garantizará que la representación gráfica no distorsiona el análisis del caso en estudio.

Podemos concluir en esta sección que las representaciones gráficas serán exitosas una vez que se establezcan cuáles son los candidatos a jugar el papel causal, si los episodios en cuestión son eventos o estados de cosas, y cuál es el tipo de episodios en relación a si se trata de hechos que han tenido lugar o bien se trata de omisiones.

Otros problemas... otras soluciones

En la sección anterior hemos mostrado de qué modo una mejora en la representación gráfica puede facilitar las discusiones sobre ciertos casos de causación que no eran adecuadamente representados por los diagramas neuronales habituales. En esta sección prestaremos atención a otros dos tipos de problemas que enfrentan las teorías de la causación: las aparentes fallas a la transitividad y la dificultad para distinguir entre causar y simplemente dejar que algo ocurra. Este último tipo de casos involucra los de causación por desconexión. Los casos de desconexión se asimilan a la caída de un preventor, es decir, que se elimina aquello que prevenía el efecto, y al desaparecer el preventor, sobreviene el efecto. Estos casos deberían poder distinguirse de los casos en los que el efecto se obtiene porque la pretendida causa desencadena un mecanismo por el cual se produce el efecto.

Abordemos en primer lugar los casos de falla en la transitividad. Tomemos el caso en el que Suzy, que es diestra, se tuerce la muñeca derecha esquiando, y por tal motivo escribe su artículo con la mano izquierda. El artículo es aceptado para su publicación y resulta ser un éxito. Son verdaderos los contrafácticos «si Suzy no se hubiera quebrado la muñeca no lo habría escrito con la mano izquierda»; «si no lo hubiera escrito con la mano izquierda, no se lo habrían publicado» por lo cual que Suzy se haya quebrado la muñeca derecha es causa de que escriba su

artículo con la mano izquierda y, a su vez, que lo haya escrito con su mano izquierda es causa de que haya sido aceptado (ya que de no haberlo hecho con su mano izquierda, sencillamente no lo habría escrito).[21] Sin embargo, no parece ser aceptable que el hecho de haberse quebrado la muñeca derecha es causa de que le hayan aceptado el artículo para su publicación.

Otro ejemplo clásico es aquel en el que un elenco de danza prepara el estreno de un ballet muy peculiar. La primera bailarina tiene un *partenaire* que se lesiona y es necesario conseguir un remplazo. Juan es muy mal bailarín pero es el único que puede remplazar al bailarín lesionado. La noche del estreno todo sale muy bien a pesar de que Juan no se ha lucido en absoluto. Sin embargo la primera bailarina ha hecho tan buen papel que los periódicos ofrecen excelentes críticas.

Son verdaderos los siguientes condicionales contrafácticos. «Si Juan no hubiera participado, no habría habido estreno» por lo cual la participación de Juan es causa de que haya habido estreno y «si no hubiera habido estreno, no habrían publicado las excelentes críticas» por lo que el estreno es causa de las excelentes críticas. Pero es inaceptable que la participación de Juan sea causa de las excelentes críticas.

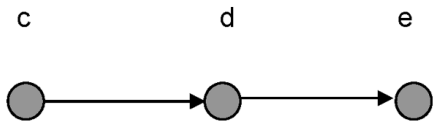


FIGURA 21. El diagrama mismo sugiere la transitividad causal

El diagrama neuronal correspondiente (figura 21) refuerza la expectativa habitual de que la relación de causación es transitiva[22] y nos obliga, en la medida en que no nos brinda información

21. Imagine el lector una situación en la que Suzy ha llevado su notebook a la montaña y planea escribir su artículo y enviarlo por email. No cuenta con nadie que pueda escribirlo por ella, no cuenta con tiempo para esperar a sanar y escribirlo o acudir al pueblo y dictarlo, y además, debe enviarlo esa misma tarde. En esas condiciones, de no haberlo escrito con la mano izquierda, sencillamente no lo habría escrito.

22. Horacio Abeledo (en comunicación personal) sostiene que la transitividad causal debería abandonarse. Es decir que aun cuando muchos ejemplos resultan ser transitivos, eso no nos habilita a sostener que la relación es transitiva.

para evitarlo, a aceptar la conclusión de que la participación de Juan es causa de las buenas críticas.

Siguiendo con el espíritu del presente trabajo, la representación gráfica debería permitir una solución al problema en el sentido de no obligarnos a aceptar la transitividad causal para todos los casos. Algunos autores (Paul 2000) proponen que la causación debe entenderse como una causación por aspectos. De acuerdo a esta propuesta, cada evento tiene diferentes aspectos. Por ejemplo, cuando decimos que Suzy se quebró la muñeca derecha esquiando, estamos mencionando un evento complejo en el sentido de que hay varias propiedades que se instancian en un mismo punto del espacio-tiempo. Podemos decir lo mismo acerca de cuando Suzy escribe un artículo con la mano izquierda. Esta advertencia permite que tomemos nota de cuál de los aspectos del primer evento fue causa de cuál de los aspectos del segundo, y así siguiendo. Parece más adecuado sostener que la quebradura de la muñeca derecha fue causa de que Suzy escribiera su artículo con la mano izquierda, pero no parece que la quebradura fuese causa de que lo escribiera. Lo mismo no parece adecuado decir que el hecho de que la quebradura tuvo lugar practicando *sky* fue causa de que escribiera el artículo. Más tarde el aspecto de escribir el artículo con la mano derecha no parece tener influencia causal sobre la aceptación del artículo, sino que lo que parece importar es que una vez escrito el artículo fue bueno, no importando si fue escrito con la mano izquierda o con un lápiz sujetado por la boca. Una representación gráfica que pudiera ser útil para discriminar estos diferentes aspectos se muestra en la figura 22. Como puede verse, cada evento tiene

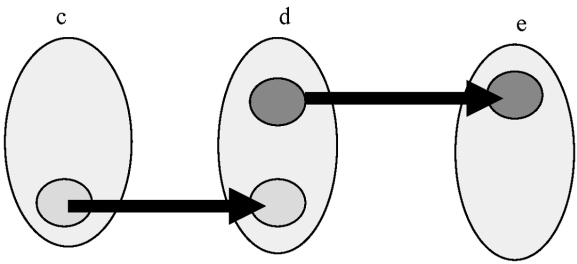


FIGURA 22. Causación por aspectos y la representación de casos no transitivos

varios aspectos (zonas) cada uno de los cuales puede tener relevancia causal o no tenerla en la ocurrencia del siguiente evento.

Con esta modificación en la representación gráfica, la presunta falla de la transitividad no parece oponerse a la intuición. Más aun, el diagrama no permite inferir que *c* es causa de *e*, aun cuando *c* es causa de *d*, y *d* es causa de *e*. Y como regla general la representación impide que sostengamos la expectativa de que la causación sea una relación transitiva. Por el contrario, de este diagrama se puede esperar que en general la causación no sea transitiva, y los casos de transitividad serían más bien una peculiaridad.

Una vez más un cambio en la representación gráfica permite modificar sensiblemente los resultados del análisis.

Un último tipo de dificultad que abordamos en este trabajo es la que se refiere a la distinción entre causar y dejar que ocurra. Como puede preverse esta distinción es de gran interés para discusiones en medicina referentes a las diferencias entre desconectar la asistencia a un paciente, no brindar la asistencia a un paciente, y ocasionarle el trastorno en cuestión.

Con ejemplos aparentemente sencillos Sara McGrath (2003) analiza la diferencia entre matar y dejar morir. Los dos ejemplos son los siguientes:

> *No-cheque*: a pesar de saber que si envía un cheque por $ 40 a una institución esto resultará en que se salve la vida de un niño, Jim no envía el cheque.
> *Disparo*: Jim dispara fatalmente a un niño, previniendo así que le robe $ 40 de su billetera.

Uno de los comentarios de McGrath en el sentido de que ambos casos son similares, es el siguiente: «...en cada par el comportamiento del agente tiene el mismo resultado: en No-cheque y Disparo el resultado es que un niño muere y Jim ahorra $ 40».

Es difícil coincidir con McGrath en rescatar la similitud de los resultados cuando lo que efectivamente está en discusión es la diferencia entre matar y dejar morir. Al momento de representar gráficamente este tipo de situaciones McGrath nos presenta el siguiente par de casos para ser comparados:

> Caso 1: [una vez decidido que se desconecte a un paciente] un médico apaga un respirador y de ese modo causa que el respirador deje de funcionar, lo que a su vez causa que el corazón se detenga, y finalmente esto último es causa de que el paciente muera.

Caso 2: [una vez que un maleante dispara a una víctima] la bala atraviesa el ventrículo izquierdo, lo que causa que la sangre deje de fluir, cosa que a su vez causa que el cerebro se quede sin oxígeno y esto causa la muerte.

La autora nos presenta el diagrama de la figura 23 para representar ambos casos. Nótese que para ambos casos sostiene que es aplicable la misma representación gráfica, y por otra parte comete el error de representar tanto hechos que ocurren como hechos que no ocurren, o eventos por omisión, mediante nodos grisados en vez de distinguirlos con nodos grisados y blancos, o vacíos, respectivamente.

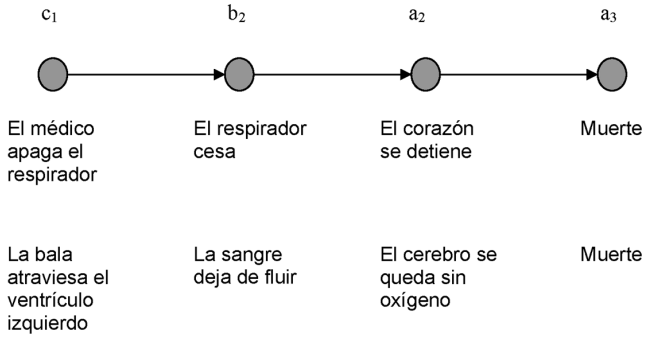


FIGURA 23. McGrath (2003) ofrece la misma representación gráfica para un caso de desconexión y para un caso de asesinato

Para comenzar debemos corregir el error de no representar de modo diferenciado los eventos que ocurren de los eventos negativos o por omisión. La figura 24 intenta corregir esta omisión.

Se ha subsanado el error en la representación, no obstante esta alteración es necesario ir más lejos en la modificación de la representación. Una de las maneras en que podría representarse una di-

FIGURA 24. La representación gráfica distingue eventos que ocurren de eventos por omisión

ferencia relevante entre los dos casos para poder discutirlos sin enmascarar sus notas distintivas, sería especificar el recorte que corresponde al sistema en estudio, es decir cuál es el recorte que corresponde al paciente y cuál el que corresponde a la víctima.

En la figura 25 presentamos un recorte que rescata esas diferencias. El caso del médico que desconecta un respirador debe asociarse con una acción (c_1) que inhibe la acción del respirador (b_2), que de haber seguido en funcionamiento, habría a su vez evitado o inhibido que el corazón se detuviera (a_2). Dado que b_2 no ocurre (nodo vacío) no ha inhibido a_2 y por tanto a_2 ha ocurrido y ha causado a_3, la muerte del paciente.

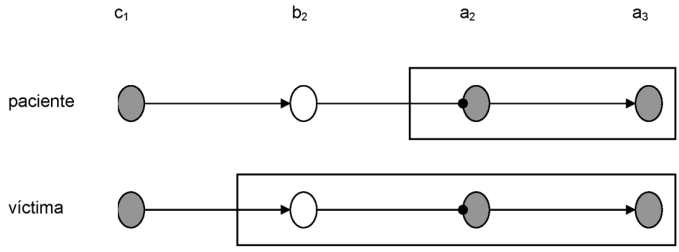


FIGURA 25. El recuadro indica el recorte que define el sistema *paciente* (esquema superior) y *víctima* (esquema inferior)

En el caso del asesinato la secuencia es similar, pero el recorte del sistema víctima no coincide con el recorte del sistema paciente, ambos indicados por el recuadro. En el caso del médico, la acción se realiza sobre un objeto exterior al paciente, mientras que la acción en el asesinato se realiza sobre un objeto interior a la víctima. No cabe duda de que tal diferencia es como mínimo relevante para las conclusiones que puedan extraerse. Aun cuando esta modificación pueda ser insuficiente para casos intermedios como por ejemplo un paciente que tiene colocado un marcapasos de modo que una intervención que detenga el marcapasos puede verse como una intervención en un objeto interior al paciente, y así ser asimilado al caso del asesinato. Pero este caso, aun siendo un caso límite, parece resistir el análisis satisfactoriamente ya que no sería descabellado sostener que desconectar el marcapasos de un paciente debe asimilarse a un daño que se le ocasiona y no a un cese en brindarle asistencia que prevenga su muerte.

Conclusiones

El análisis presentado a lo largo de las diferentes dificultades que pueden asociarse a la representación gráfica de la causación ha pretendido mantenerse restringido a las inferencias que pueden obtenerse de la misma representación, o bien al modo en que la representación impide que se obtengan ciertas conclusiones que enriquecerían el análisis. Hemos tratado de evitar que la discusión se desarrollara por los canales habituales en cuanto a la argumentación y el cálculo de condicionales contrafácticos, o el referido a las condiciones físicas de la interacción causal.

Con ayuda de esta restricción hemos podido mostrar que la representación gráfica en sí misma es capaz de desviar o modificar el análisis y producir resultados paradójicos.

También hemos intentado mostrar que hay maneras de evitar que la representación misma sea la que guíe el análisis hacia los resultados paradójicos. Para ello se debe rescatar en la representación gráfica los aspectos relevantes que no pueden ser desestimados en el análisis sin menoscabo de caer en la obtención de resultados contrastantes.

Aun cuando es un asunto delicado la manera en que se establecen cuáles son los aspectos relevantes que deben ser tenidos en cuenta para no omitirlos en la representación gráfica, existe un modo iterativo en el que se puede llevar a cabo la tarea de su identificación. Se pueden ensayar diferentes representaciones gráficas que rescatan diferentes aspectos y de este modo obtener diferentes resultados a partir de los diagramas. Una vez que se obtienen resultados no paradójicos o contrastantes con lo que se espera a partir de los casos no conflictivos, se pude concluir que se ha dado con una o más de las representaciones adecuadas para dar cuenta de ese caso.

No necesariamente habrá un solo modo de representar adecuadamente un caso para que sus aspectos conflictivos puedan analizarse satisfactoriamente. De modo que no estamos proponiendo que una representación gráfica sea preferible a otra de un modo general. Más bien el estudio de los distintos casos nos llevará a distintas maneras de representar los casos para lograr resultados estables y no conflictivos. Cada tipo de caso conflictivo tendrá una o más maneras de representarse gráficamente para permitir el análisis exitoso del caso, entendiendo por «exitoso» el hecho de que pueda ajustarse a las intuiciones más básicas

que se obtienen para casos no conflictivos, y por otra parte que los resultados del análisis no difieran de un caso a otro que pertenezcan al mismo tipo. Esta segunda característica es esencial para evitar que la representación dependa del contenido del caso y no de la estructura de relaciones causales que presenta, y que es la que ha producido la aparente paradoja.

Recordemos que parte de las libertades de los hablantes se encuentra en el recorte de los sistemas, en las propiedades que se toman como aspectos relevantes para las conexiones causales y en la distinción entre eventos y estados de cosas en virtud de la tasa de cambio de las propiedades y la tasa de cambio del cambio de las propiedades. De este modo los hablantes tienen suficientes variables a mano para modelar la representación de los diferentes casos como para obtener resultados estables, comunicables y aceptables para la comunidad. Por lo tanto, es de esperar que la manera en que elijan representar los casos conflictivos pueda modificarse hasta obtener tales características deseables. De entre las variables que los hablantes tienen a disposición hemos querido poner de relieve la referida a la representación gráfica.

En tanto la representación gráfica se presuponga neutral respecto del análisis, los casos conflictivos y paradójicos seguirán siendo oscuros y, sin saberlo, los diagramas evitarán que se eche luz sobre ellos actuando así como verdaderos preventores de la comprensión.

Referencias bibliográficas

ARMSTRONG, D.M. (1997), *A World of States of Affairs Great Britain*, Cambridge University Press.

ARRANZ, M.R.J., J. GARCILLÁN, M.P. PÉREZ y M.D. SOTO (1997), *An Analysis on Agricultural Income Expectations*, Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales, Universidad de Valladolid.

BLAU, P. y O.D. DUNCAN (1967), *The American Occupational Structure*, John Wiley and Sons, Nueva York.

COLLINS, J., N. HALL y L.A. PAUL (2004), «Counterfactuals and Causation, History, Problems and Prospects», en J. Collins, N. Hall y L.A. Paul (eds.), *Causation and Counterfactuals*, Cambridge, MIT Press.

— N. HALL y L.A. PAUL (eds.) (2004), *Causation and Counterfactuals*, Cambridge, MIT Press.

DOWE, Ph. (2000), *Physical Causation*, Oxford University Press, Oxford.

FROST, M. (1995), *Causal Diagrams Users Manual,* no publicado. Diferentes fuentes recogen sus propuestas: http//www.passingdb.com/articles.php?id=39

HUME, D. (1748), *Enquiry Concerning Human Understanding*, Virginia Tech. Versión castellana: *Investigación sobre el conocimiento humano,* Alianza Editorial, Madrid, 1999.
KIM, N.S., J.E. YOPCHICK y L. DE KWAADSTENIET (2008), «Causal Diversity Effects in Information Seeking», en *Psychonomic Bulletin & Review,* vol. 15, n.º 1, pp. 81-88.
LEWIS, D. (1973*a*), *Counterfactuals*, Blackwell, Oxford.
— (1973*b*), «Causation», en *Journal of Philosophy,* vol. 70, pp. 556-567; y en *Philosophical Papers*, vol. II, 1986, pp. 180-191, Oxford University Press, Nueva York / Oxford.
— (1986), «Events», en *Philosophical Papers*, vol. II, pp. 241-269, Oxford University Press, Nueva York / Oxford.
— (2000), «Causation as Influence», en *Journal of Philosophy,* vol. 97, pp. 182-197. [Reimpreso en J. Collins, N. Hall y L.A. Paul (eds.), 2004, pp. 75-106.]
LITTLE, D. (1998), *Microfoundations, Method and Causation*, Transaction Press, New Brunswick, N.J.
MCDERMOTT, M. (1995), «Redundant Causation», en *British Journal for the Philosophy of Science*, vol. 46, pp. 523-544.
MCGRATH, S. (2003), «Causation and the Making/Allowing Distinction», en *Philosophical Studies*: vol. 114, n.º 1-2, pp. 81-106.
MIGUEL, H. (2005), «Hacia una topografía de estados de cosas. Segunda parte: el espacio», en H. Faas, A. Saal y M. Velasco (eds.), 2005, *Epistemología e Historia de la Ciencia*, vol. 11, pp. 517-525, Universidad Nacional de Córdoba (Argentina).
— (2006*a*), «Herramientas para una topografía de estado de cosas. Tercera parte: las omisiones», en J. Ahumada, M. Pantalone y V. Rodríguez (eds.), 2005, *Epistemología e Historia de la Ciencia*. Selección de las XVI Jornadas, vol. 12, pp. 409-416, Univ. Nal. de Córdoba (Argentina).
— (2006*b*), «Objetos por omisión», en A. Bobenrieth (ed.), *Ciencias Formales y Filosofía*. Selección de trabajos presentados en las VII Jornadas Rolando Chuaqui K. Edeval - Universidad de Valparaíso, pp. 157-170.
— y J. PARUELO (1998), «Causación, producción y función», en *Crítica, Revista Hispanoamericana de Filosofía*, vol. XXIX, n.º 87, dic. 1997, pp. 53-90, México.
— y J. PARUELO (2006), «Superposición de interacciones causales en la teoría de Phil Dowe», en *Enrahonar. Cuaderns de Filosofía,* vol. 37, pp. 123-139.
— y J. PARUELO (2007), «Causar o dejar que ocurra», en *Andamios. Revista de Investigación Social*, vol. 4, n.º 7, pp. 7-18.
PAUL, L.A. (2000), «Aspect Causation», en *Journal of Philosophy,* vol. 97, pp. 235-256.
SCHAFFER, J. (2000), «Trumping Preemption», en *Journal of Philosophy*, vol. 97, pp. 165-181.
— (2003), «Overdetermining Causes», *Philosophical Studies,* n.º 114, pp. 23-45.

LA ANALOGÍA MAPA-TEORÍA: LA REPRESENTACIÓN CIENTÍFICA Y EL «GIRO VISUAL»

Xavier de Donato
Universidad de Santiago de Compostela

Introducción

La analogía entre mapas y teorías científicas es casi un *locus communis*. Especialmente en cierto momento histórico en el que la noción clásica de teoría científica como sistema axiomático y defendida por la llamada «concepción heredada» estaba en crisis. Permítaseme recordar, para empezar, tres ilustres ejemplos:

- Toulmin (1953, p. 105):

  [...] los problemas de método que enfrentan el físico y el cartógrafo son lógicamente similares en aspectos importantes, de igual manera que lo son las técnicas de representación que emplean para lidiar con ellos.[1]

- Polanyi [1958, p. 4]:

  [...] toda teoría puede ser vista como una especie de mapa desplegado sobre el espacio y el tiempo.[2]

- Kuhn [1962, p. 109]:

  [...] el paradigma funciona diciéndole a los científicos cuáles son las entidades que la naturaleza contiene y no contiene y acerca de las maneras en que esas entidades se comportan. Esa infor-

1. «[...] the problems of method facing the physicist and the cartographer are logically similar in important respects, and so are the techniques of representation they employ to deal with them.»
2. «[...] all theory may be regarded as a kind of map extended over space and time.»

> mación ofrece un mapa cuyos detalles son dilucidados mediante la investigación científica madura. Y como la naturaleza es demasiado compleja y variada para ser explorada al azar, ese mapa es tan esencial como la observación y el experimento [...] los paradigmas proveen a los científicos no sólo de un mapa sino también de direcciones esenciales para elaborar mapas.[3]

La naturaleza y la justificación de esta analogía es una cuestión que queremos explorar en la presente contribución, en particular teniendo presente la discusión actual acerca de la representación en la ciencia.

Fortuna de una analogía ubicua

Antes que nada, parece obligado reconocer la importancia que *prima facie* tiene la espacialidad en el conocimiento, es decir, el papel cognitivo de la espacialidad en nuestra consciencia y en la organización y comprensión de nuestras experiencias. Es un hecho comúnmente aceptado por la psicología, desde Piaget hasta las ciencias cognitivas, el lugar central que ocupa en casi todas nuestras representaciones. Por otro lado, científicos de diversas áreas han señalado la importancia de la conciencia y del lenguaje espacial: los «mapas cognitivos» pueden haber sido un factor esencial en la evolución intelectual de los homínidos y en el surgimiento de estructuras adecuadas para la formación del lenguaje.

De este modo, no puede parecer antinatural o extraño, establecer algún tipo de relación analógica entre la espacialidad y cualquier mecanismo apropiado para la orientación espacial, por un lado, y los aparatos conceptuales que la inteligencia humana diseña para comprender e intervenir en el mundo (como son las teorías).

---

3 «[...] [the paradigm] functions by telling the scientist about the entities that nature does and does not contain and about the ways in which those entities behave. That information provides a map whose details are elucidated by mature scientific research. And since nature is too complex and varied to be explored at random, that map is as essential as observation and experiment [...] paradigms provide scientists not only with a map but also with some directions essential for map-making.»

Sin embargo, hay motivos para dudar de lo adecuado de la analogía mapa-teoría. Turnbull (1989, p. 2) señala esencialmente dos dificultades:

> • La analogía puede parecer demasiado obvia, porque debido a su inherente carácter espacial, los mapas pueden ser usados como instrumentos para explicar cómo funcionan y qué estructura tienen el lenguaje, los marcos conceptuales, las mentes, las teorías, la cultura, el conocimiento, la ciencia. Y, a causa de su carácter explicativo, puede resultar difícil explicar la naturaleza de los mapas sin recurrir a estructuras parecidas a los mapas en la explicación.
> • La espacialidad es seguramente algo esencial a todas las culturas, pero que cuenta como «localización relativa» de objetos particulares puede no ser algo tan básico y, de hecho, constituye una de las variables que distinguen el modo en que las distintas culturas perciben el mundo.

Pero, ¿qué son los mapas? Una caracterización general tentativa podría ser: «Los mapas son representaciones gráficas que facilitan una comprensión espacial de las cosas, conceptos, procesos o eventos en el mundo humano» (Harley y Woodward 1987, p. xvi).[4] Obviamente, los mapas en el sentido restringido de la cartografía y de la geografía cumplen con esta caracterización tan genérica, la cual abarcaría dos niveles de representación: uno *icónico* —cuya función sería representar determinados aspectos visuales de un territorio, pero también, por ejemplo, de un proceso complejo o de una red conceptual— y otro *simbólico* —que incorporaría signos y símbolos puramente convencionales como letras, números, diagramas y otros medios gráficos.

¿En qué se distinguen los mapas de otras representaciones visuales y, en general, de una imagen o una ilustración cualesquiera? Un dibujo, por ejemplo, trata de representar algo, desde luego, pero casi siempre lo hace desde una perspectiva particular y, preeminentemente, tiene un carácter subjetivo, mientras que los mapas son, en cierto sentido importante, objetivos. Por supuesto, los mapas son un tipo de dibujos y pueden incluso

4. «Maps are graphic representations that facilitate a spatial understanding of thing, concepts, processes, or events in the human world» (Harley y Woodward 1987, p. xvi).

tener elementos perspectivísticos e incluso estéticos, pero son mucho más que eso: son intersubjetivos y son capaces de transmitir información, es decir, tienen un *contenido informacional* que les es esencial. En este sentido, las teorías son como mapas y no como imágenes o dibujos. No obstante, alguien podría notar que los mapas (por ejemplo, los mapas de ciertas tribus primitivas) pueden tener una pretendida función pictórica, mágica, religiosa, ritual. La construcción de mapas está guiada, en definitiva, por principios culturales. De acuerdo, pero también la construcción de modelos científicos está guiada en ocasiones por principios teóricos tanto como ideológicos y estéticos. De modo que, después de todo, tampoco en esos mapas y teorías se distinguen de modo fundamental.

Mapas y teorías participan por igual de una dimensión convencional. Así, por ejemplo, Rudwick (1976, p. 151) dice:

> [...] un mapa geológico [...] es un documento presentado en lenguaje visual; y, como cualquier lenguaje verbal ordinario, comprende un complejo conjunto de reglas tácitas y convenciones que deben ser aprendidas en la práctica. [Por lo tanto, debe haber también] una comunidad social que acepte tácitamente estas reglas y comparta la comprensión de estas convenciones.[5]

Según Rudwick (1976), la geología no pudo convertirse en una ciencia plenamente desarrollada antes del desarrollo de los mapas y los diagramas visuales. Como los mapas, las teorías científicas son sistemas socialmente construidos gracias a ciertas prácticas, habilidades y al conocimiento tácito que constituye parte de la identidad de las comunidades científicas. Hay un componente esencialmente convencional en los mapas y en las teorías:

> Hablar, en filosofía de la ciencia, de la física teórica refutando mediante abstracción y preguntarse acerca de los hechos y nada más que acerca de los hechos, es pedir lo imposible, como pedir que sea dibujado un mapa sin proyección ni escala particular.

---

5. «[...] a geological map [...] is a document presented in visual language; and like any ordinary verbal language this embodies a complex set of tacit rules and conventions that have to be learned by practice. [Therefore there also has to be] a social community which tacitly accepts these rules and shares an understanding of these conventions.»

> En epistemología, también, decir que nuestros conceptos ordinarios refutan mediante abstracción o son condiciones necesarias de la experiencia [...] significa exhibir una falacia similar. Si hemos de decir algo, debemos estar preparados para atenernos a las reglas y convenciones que gobiernan los términos con los cuales hablamos [...] Sólo si estamos preparados podemos esperar decir algo verdadero —o algo falso [Toulmin 1953, p. 129].[6]

Al mismo tiempo, como ya avanzamos, las teorías y los mapas tienen un carácter representacional. Los modelos científicos son, generalmente, representaciones de cierta clase. Teorías y mapas clasifican, ambos son entidades abstractas que simplifican e idealizan diferentes aspectos de la realidad. Teorías y mapas tienen, pues, un carácter funcional e intencional. Son representaciones *de algo* realizadas *para algo*. Pueden servir a distintos propósitos (dependiendo del propósito tenemos distintos tipos de mapas: un mapa usual de Londres con sus calles y plazas principales, un mapa turístico de Londres con los principales lugares para visitar, un mapa de carreteras y un mapa físico de la misma región...). Los mapas, al igual que los modelos científicos, son significativos sólo en la medida en que representan un aspecto particular de la realidad como aparece a alguien determinado. Por tanto, requieren, como las teorías y los modelos, una interpretación técnica concreta.

Simultáneamente, tanto mapas como teorías pueden verse como sistemas argumentativos. Funcionan justo porque nos ayudan a extraer inferencias, a derivar cierta información y tienen *poder inferencial*. Las imágenes (y, por tanto, también los mapas, los diagramas, etc.) pueden verse también como argumentos. Popper defendía justo lo contrario, a saber, que hay una asimetría que:

---

6. «To talk, in the philosophy of science, of theoretical physics falsifying by abstraction, and to ask for the facts and nothing but the facts, is to demand the impossible, like asking for a map to be drawn to no particular projection and having no particular scale. In epistemology, too, to argue that our everyday concepts falsify by abstraction or are necessary conditions for experience [...] is to evince a similar misconception. If we are to say anythig, we must be prepared to abide by the rules and conventions that govern the terms in which we speak [...] Only if we are so prepared can we hope to say anything true —or anything untrue» (Toulmin 1953, p. 129).

> [...] hace de la analogía común entre mapas y teorías científicas una particularmente desafortunada. Las teorías son esencialmente sistemas argumentativos de aserciones: su elemento principal es que explican deductivamente. Los mapas no son argumentativos. Desde luego, toda teoría es también descriptiva, como un mapa [Popper 1992, p. 77].[7]

Ciertos autores que escriben sobre lógica informal admiten que, al menos en ocasiones, hay imágenes que son también argumentos (cf. *Informal Logic*, Stanford Encyclopedia of Philosophy). Cierto tipo de diagramas y dibujos pueden verse como teniendo determinado valor probatorio. Considérese, por ejemplo, la reconstrucción por ordenador hecha por Bullard de la deriva continental para obtener «evidencia» de la hipótesis de Wegener.

Los mapas nos ayudan a extraer inferencias acerca de la localización relativa de una población o calle. Los diagramas (como los diagramas de Venn, los *tableaux* semánticos de Smullyan, los esquemas diagramáticos estructurados que representan la composición molecular en química, los métodos de demostración a partir de dibujos geométricos, los diagramas usados en teoría de categorías o lógica dinámica epistémica, etc.) son usados típicamente como instrumentos inferenciales y demostrativos (con ciertos límites).

Éste es, por consiguiente, un elemento más que justifica la analogía. Mapas y teorías son mecanismos o instrumentos inferenciales. Por otro lado, ellos mismos no son ni verdaderos ni falsos. Pueden ser más o menos «exactos» o «precisos», en el sentido de que permiten efectuar inferencias «más o menos exactas». Podemos, tanto en las teorías como en los mapas, corregirlos, hacerlos más o menos precisos o exactos. Podemos construir un mapa de carretera a partir del mapa físico de cierta región, pero no viceversa, porque el mapa físico es «más exacto». Análogamente, podemos producir un diagrama de rayos a partir de una imagen de un sistema óptico en la teoría ondulatoria, pero no viceversa. Por otro lado, podemos hacer un mapa de

---

7. «[...] makes the familiar analogy between maps and scientific theories a particularly unfortunate one. Theories are essentially argumentative systems of statements: their main point is that they explain deductively. Maps are non-argumentative. Of course every theory is also descriptive, like a map» (Popper 1992, p. 77).

cierta región más preciso (haciendo que contenga más información y, por ende, más poder inferencial). De manera similar, podemos hacer más precisos nuestros modelos físicos proporcionando teorías más exactas y precisas que puedan explicar el éxito tanto como el fracaso de las teorías precedentes: las ecuaciones relativistas pueden explicar, por ejemplo, el éxito y el fracaso de las ecuaciones mecánicas clásicas, al igual que la teoría gravitacional newtoniana podía explicar el éxito y el fracaso de las leyes de Kepler y Galileo. Por poco que simpaticemos con una postura falibilista, pudiéramos incluso argüir que las teorías son siempre perfeccionables y que, por tanto, su carácter «aproximado» (nunca definitivo) les es casi «consustancial».

De igual forma, los mapas son siempre «parciales» en el sentido de que no representan todos y cada uno de los aspectos de la realidad que pretenden representar: como Lewis Carroll y Jorge Luis Borges señalaron, de forma independiente, un mapa de un territorio a escala 1:1 es absolutamente inservible. De manera análoga, una teoría científica no puede ser una mera compilación de hechos observacionales, no importa cuán precisa y exacta (recuérdese aquí el viejo «dilema del teórico» de Hempel).

Finalmente, al igual que las teorías, los mapas son no sólo parciales, exactos hasta cierto nivel de precisión, sino que son *idealizados*. Los mapas son construcciones en tanto que dibujos bidimensionales basados en una, más o menos adecuada, teoría de la proyección. Aunque no se puede decir que sean «productos de la ficción» (Cartwright) en el mismo sentido que los modelos y las representaciones científicas en general, los mapas también comparten esta característica de estar basados en idealizaciones y asunciones contrafácticas que son «corregibles».

Construcción y representación: explotando la analogía más allá

Entre las distintas concepciones de la representación científica, una que ha ganado cada vez más adeptos es la llamada «inferencialista» (ver Suárez 2004, para una reciente presentación). Dos son las características principales de la representación según esta concepción, a saber, por un lado lo que podríamos llamar la «direccionalidad» —cierta *source* (el *representans*), típi-

camente un modelo, un grafo, una ecuación, es usada para representar un *target* (el *representandum*), típicamente un sistema fenoménico, una entidad o clase de entidades, un evento o clase de eventos, etc. La otra característica es la de permitir extraer inferencias acerca del *target*.

Otra característica, igualmente importante, es la intencionalidad: un agente *S* tiene la intención de usar el modelo *M* para representar *W* (cierto aspecto del mundo). Esto significa que la representación científica no puede reducirse a una relación objetiva entre *source* y *target*.

El agente es también necesario en el proceso de extracción de inferencias: la *source A* permite al agente *S* (quien es un agente competente e informado) extraer inferencias específicas acerca del target *B*, es decir, sobre la base de las propiedades de *A*, *S* puede inferir algunas conclusiones acerca de *B*. Por supuesto, debe existir alguna regla operativa de inferencia entre las propiedades de *A* y *B*, pero tal regla cualificaría precisamente como la base de la representación. Las inferencias pueden ser, por supuesto, de muchos tipos distintos: deductivas, inductivas, abductivas, contrafácticas.

La concepción inferencial de la representación tiene muchos atractivos. En particular, parece capturar las características esenciales de la representación sin comprometerse a definir el tipo de relación del que se trata en la representación, pues puede tratarse de muchos tipos diferentes. Desde luego, queda inexplicado cómo es que podemos extraer inferencias acerca del *target* a partir de la *source*, el «poder inferencial» queda inexplicado como si fuera un hecho bruto. Algunos autores (cf. Suárez 2004) han argumentado recientemente que esto no es un problema sino una virtud de la concepción inferencial, pues las maneras de instanciar esta noción son tan múltiples y variadas que no puede haber una teoría general de la representación que vaya más allá de la constatación de ciertas características fundamentales (mínimas), en particular no puede haber una teoría que nos dé condiciones necesarias y suficientes para la representación (científica). Tan dudoso como esto pueda ser (parece que disponer de una teoría general interesante acerca de una determinada noción no implica tener condiciones necesarias y suficientes para la aplicación de esa noción), el hecho es que muchas de las explicaciones acerca de en qué consiste la relación de representación

han fracasado. Piénsese en particular en la concepción de Giere (1988), centrada en la noción de similaridad (insuficiente por excesivamente vaga) o en la concepción estructuralista (cf., por ejemplo, Mundy 1988 o Suppes 2002), basada en la noción de preservación de estructura o morfismos (no parece necesaria ni suficiente). Por otra parte, ni una ni otra parecen poder dar cuenta de la función cognitiva de la representación científica. La concepción inferencialista evita estos problemas al no comprometerse con ninguna explicación formal de la relación de representación, pero —por supuesto— para una comprensión cabal de la representación no podemos quedarnos con la idea mínima inferencialista, sino que debemos intentar completar dicha idea con una investigación ulterior de las diversas formas en que se puede instanciar la relación.

El otro problema relacionado con la representación es el ontológico. ¿Qué son los modelos? ¿Por medio de qué tipo de entidades podemos representar? ¿Son los modelos ficciones? ¿Son *possibilia* (entidades instanciadas en mundos posibles)? ¿Son objetos abstractos? ¿Estructuras matemáticas? Desde luego, depende de qué modelos estemos hablando. Si hablamos de modelos materiales o diagramáticos, ninguna de estas respuestas parece satisfactoria. Encontrar una única teoría ontológica que sirva para todos los modelos (o todas las representaciones) parece algo tan difícil como dar con una teoría general de la representación que explique el poder inferencial de los modelos (o las representaciones).

En general, podemos caracterizar un modelo (o *representans*) como una «máquina inferencial» a la cual se ha asociado una interpretación intendida y que representa un cierto sistema real (o *representandum*). Esta relación entre *representans* y *representandum* puede ser modelizada de diferentes maneras, dando lugar a una gran posibilidad de combinatorias (ver Ibarra y Mormann 2000). Una teoría de la representación debe estudiar los distintos modos de instanciar la relación y sus combinatorias (incluyendo la homología, que es más general y abstracta que la preservación de estructura).

¿Qué hace de una representación científica una representación *adecuada* o *aceptable*? ¿Qué hace de un modelo un *buen* modelo? Ésta es la otra gran pregunta que una teoría de la representación científica debe responder. Aquí hay una posible lista

de virtudes, alguna de las cuales se siguen ya o son fáciles de inferir a partir de nuestras consideraciones anteriores (cf., para más detalles, Donato y Zamora 2009):

• adecuación: las consecuencias obtenidas con su ayuda deben corresponder a las consecuencias que se siguen del sistema real;
• versatilidad: el modelo nos permite extraer inferencias de distintos tipos de afirmaciones del *representandum*;
• ergonómica: el modelo debe ser fácil de manejar, al menos debe ser más fácil extraer inferencias de él que directamente del sistema real que se quiere representar o modelizar (o de los principios teóricos únicamente). Ésta es la propiedad que podemos llamar función «instrumental» de los modelos;
• compatibilidad: el modelo debe ser fácil de conectar con otros modelos.

Los modelos no se derivan directamente de la teoría ni de los datos. Son «mediadores» entre la teoría y los datos (cf. Morgan y Morrison 1999). En general, se puede hablar de un *continuum* de modelos (o representaciones), pudiendo ocurrir varias posibilidades:

1) un mismo *representandum* puede tener varios modelos para distintos propósitos y estos diferentes modelos pueden estar conectados de varias formas;
2) un mismo modelo ser el *representandum* de otros modelos;
3) el modelo puede estar basado en diferentes (quizá incompatibles) principios teóricos.

No hay ninguna combinación ideal, única y definitiva de virtudes. Cada científico o comunidad científica tendrá sus propias preferencias (de hecho, esto será parte del modo en que las comunidades se distingan entre sí).

Los modelos pueden ser vistos como «prótesis inferenciales» (cf. Donato y Zamora 2009). De hecho, todo nuestro conocimiento está mediado por redes inferenciales y no hay manera de distinguir el conocimiento inferencial obtenido usando dichas «prótesis» y el obtenido sin usarlas. Sin embargo, hay prótesis que parecen más naturales que otras. Nos proporcionan la sensación de estar más cerca de la realidad. Esta afirmación debe enten-

derse en un sentido pragmático: cuanto más reemplazable sea el *representandum* por el *representans* en la práctica, más «real» parecerá el segundo (esto resulta claro en el caso de simulaciones y mapas).

Por otro lado, los modelos nos ayudan a: *a*) descubrir nuevos aspectos de la realidad y *b*) construir otros modelos más concretizados (poder heurístico). El descubrimiento científico puede ser visto como un modo de introducir hipótesis exitosas, que conducen a modelos más «reales». El éxito de los modelos no se puede cifrar en una correspondencia aproximada con la realidad, sino más bien con un éxito empírico instrumental; sólo así se puede entender la funcionalidad de modelos artificiales y simulaciones basados en algoritmos para la simplificación del cálculo: piénsese en el caso de la llamada viscosidad artificial (cf. Winsberg 2006).

Los modelos y representaciones científicas tienen un carácter esencialmente interventivo (Ibarra y Mormann 2006), se trata de *construcciones* muy particulares. Son sistemas construidos con el fin de sistematizar, organizar y facilitar el conocimiento e intervenir en la realidad deformándola conscientemente. Ésta es, finalmente, una base más abstracta para la analogía entre teorías y mapas. Como dijo en una ocasión Nelson Goodman (1963, pp. 552-553):

> La función de un sistema construido (*constructional system*) no consiste en recrear experiencia sino más bien en mapearla. Aunque un mapa derive de observaciones de un territorio, carece de los contornos, colores, sonidos, olores y de la vida de un territorio, y en talla, forma, peso, temperatura y muchos otros aspectos puede ser tan disímil como se quiera de lo que mapea. Incluso puede tener muy poco en común con otros mapas igualmente apropiados del mismo territorio. Un mapa es esquemático, selectivo, convencional, condensado y uniforme. Y estas características son virtudes más que defectos. El mapa no sólo resume, clarifica y sistemariza; éste también revela hechos que difícilmente aprenderíamos a partir de nuestras propias exploraciones [...] un mapa también tiene sus ventajas. Está en lenguaje artificial y debe ser leído y correlacionado con el terreno; pero es consistente, comprehensivo y conectado. Sin necesidad de solicitar ayuda, puede ofrecernos una buena presentación de mucha información que ya tenemos en la mente; pero también puede revelarnos rutas insospechadas y conducirnos a rectificar

> concepciones erróneas que de otro modo hubieran permanecido sin cuestionamiento. Ofrece una vista panorámica organizada que ningún conjunto de directivas verbales y ninguna experiencia de terreno pueden ofrecer por sí solas.[8]

Esto, desde luego, nos lleva más allá de la analogía entre la parte visual de mapas y representaciones. Nos hace caer en la cuenta del carácter representacional funcional-constructivo (o mediador-interventivo si se prefiere) de mapas y modelos. Ibarra (2006) también ha mostrado el poder ilustrativo de la analogía de los mapas en el caso de la noción de clasificación natural de Duhem, una noción que no sería «derivada» sino más bien constituida (una base para la organización y estructuración de los fenómenos y, por tanto, de la naturaleza).

Conclusión

Hemos visto algunos elementos comunes a mapas y teorías (o modelos y representaciones científicas) que legitiman una analogía entre ambos —algunos de ellos bien conocidos y estudiados. A través de consideraciones sobre la representación científica, hemos llegado a plantear una base comparativa que va más allá de los elementos visuales, los cuales son asimismo importantes y relevantes en un análisis de la naturaleza de la analo-

---

8. «The function of a constructional system is not to recreate experience but rather to map it. Though a map is derived from observations of a territory, the map lacks the contours, colors, sounds, smells, and life of a territory, and in size, shape, weight, temperature and most other respects may be about as much unlike what it maps as can well be imagined. It may even be very little like other equally good maps of the same territory. A map is schematic, selective, conventional, condensed, and uniform. And these characteristics are virtues rather than defects. The map not only summarizes, clarifies, and systematizes; it often discloses facts we could hardly learn immediately from our explorations [...] a map has its advantages, too. It is, indeed, in an artificial language, and has to be read and related to the terrain; but it is consistent, comprehensive, and connected. It may needlessly give us a good deal of information we already have in mind; but it may also reveal unsuspected routes and lead us to rectify misconceptions that might otherwise have gone unquestioned. It gives an organized overall view that no set of verbal directions and no experience in travelling can provide unaided.»

gía. Hemos presentado las bases para una concepción inferencialista de la representación que ve a los modelos como «prótesis inferenciales», destacando su poder combinatorio y heurístico amén de su carácter funcional-interventivo. No era éste un lugar adecuado para desarrollar ideas que el lector puede encontrar en otro lugar. Tan sólo hemos pretendido hacer de éstos últimos aspectos la verdadera piedra de toque para una legitimación de la mencionada analogía.

Referencias bibliográficas

DONATO, X. de y J. ZAMORA BONILLA (2009), «Credibility, Idealisation, and Model Building: An Inferential Approach», *Erkenntnis,* n.º 70, pp. 101-118.

GIERE, R. (1988), *Explaining Science: A Cognitive Approach,* University of Chicago Press, Chicago.

GOODMAN, N. (1963), «The Significance of *Der Logische Aufbau der Welt*», en P.A. Schilpp (ed.), *The Philosophy of Rudolf Carnap*, La Salle Ill, Open Court, pp. 545-558.

HARLEY, J. B. y D. WOODWARD (1987), *The History of Cartography*, vol. 1, University of Chicago Press, Chicago/Londres.

IBARRA, A. (2006), «Teorías, clasificaciones y mapas», en *Actas del V Congreso de la SOLOFICI*, Granada (España).

— y T. MORMANN (2000), «Una teoría combinatoria de la representación científica», en *Crítica*, vol. 32, n.º 95, pp. 3-46.

— y T. MORMANN (2006), «Interactive Representations», en *Representaciones*, vol. I, n.º 1, pp. 1-20.

KUHN, T.S. (1962), *The Structure of Scientific Revolutions*, University of Chicago Press, Chicago.

MORGAN, M. y M. MORRISON (eds.) (1999), *Models as Mediators: Perspectives on Natural and Social Sciences*, Cambridge University Press, Cambridge.

MUNDY, B. (1986), «On the General Theory of Meaningful Representation», en *Synthese*, vol. 67, n.º 3, pp. 391-437.

POLANYI, M. (1958), *Personal Knowledge: Towards a Post-critical Philosophy*, Routledge and Kegan Paul, Londres.

POPPER, K.R. (1992), *Unended Quest: An Intellectual Autobiography*, Routledge, Londres.

RUDWICK, M.J.S. (1976), «The Emergence of a Visual Language for Geological Science, 1760-1840», en *History of Science*, vol. XIV, pp. 149-195.

SUÁREZ, M. (2004), «An Inferential Conception of Scientific Representation», en *Philosophy of Science*, vol. 71, n.º 5, pp. 769-779.

SUPPES, P. (2002), *Representation and Invariance of Scientific Structures*, CSLI, Stanford, California.
TOULMIN, S. (1953), *The Philosophy of Science: An Introduction*, Harper and Row, Nueva York.
TURNBULL, D. (1982), *Maps are Territories: Science is an Atlas*, University of Chicago Press, Chicago.
WINSBERG, E. (2006), «Models of Success Versus the Success of Models: Reliability without Truth», en *Synthese*, vol. 152, n.º 1, pp. 1-19.

LAS IMÁGENES DIGITALES EN ASTROFÍSICA: MEDIADORES NUMÉRICOS ENTRE OBSERVACIÓN Y TEORÍA

Andoni Ibarra y Eduardo Zubia
Universidad del País Vasco / Euskal Herriko Unibertsitatea

Introducción

La astrofísica constituye un campo singular dentro de la física, en cuanto que la realización de experimentos resulta ser una actividad de alcance extremadamente limitado. Siguiendo la imagen tradicional de la ciencia, podríamos caracterizar la teorización científica diciendo que la obtención de los datos en astrofísica se realiza a través de la observación de fenómenos naturales, y que el astrónomo teórico elabora teorías científicas en respuesta a las observaciones realizadas. Las nuevas teorías a su vez serían contrastadas, siempre según esa imagen tradicional, mediante observaciones independientes. En consecuencia, la obtención de datos observacionales sería una de las grandes tareas de la práctica de la astrofísica. Pero, ¿qué es lo que hay que observar? La respuesta es más compleja que lo que una actitud apresurada podría indicar.

Una de las tareas centrales de los astrofísicos es la actividad de obtener imágenes de los fenómenos a explicar. Una actividad que denominaremos *figurativa*. Por supuesto, esta actividad se expresa en la realización de prácticas muy diversas, algunas de las cuales se considerarán en esta contribución. Pero muchas de ellas tienen que ver con la construcción de imágenes digitales que fundamenten progresivamente la elaboración teórica. La construcción de estas imágenes es algo central en muchas prácticas astrofísicas y organiza, de hecho, el conjunto de la actividad científica de este campo. Las prácticas figurativas son centrales y constitutivas de los ajustes per-

manentes que se operan tanto en el ámbito de la base empírica como de la teoría emergente. Como se mostrará en lo que sigue, la construcción de imágenes implica un gran número de acciones y una actividad representacional compleja de formulaciones y reformulaciones de datos observacionales y pruebas teóricas.

Escrutado desde la perspectiva de la práctica científica en acción, la actividad figurativa de la astrofísica aparece como un proceso complejo constituido por un gran número de interacciones —cuyo carácter precisaremos— y representaciones materiales de diverso tipo que involucran para su realización recursos materiales de muy diferente signo (robots, ordenadores, simulaciones, modelos numéricos, etc.). Si algo muestra esta actividad figurativa es que, a diferencia de lo sostenido tradicionalmente, no cabe distinguir absolutamente entre una actividad genérica —cualificada como teórica— y otra —cualificada como práctica. La construcción de las imágenes digitales puede cualificarse, más bien, como una *práctica teórica*. En otros términos: las imágenes digitales en astrofísica pueden concebirse como un tipo específico de *mediadores*, esto es, como recursos que pueden considerarse como entre-medios (de datos observacionales y teorías, por ejemplo), y simultáneamente ser concebidos como entidades propias por sí mismas.

La actividad figurativa no ha sido objeto de atención en el estudio filosófico de la ciencia. En esta contribución se propone considerarla, en tanto que ejercicio central de la actividad astrofísica, como un ejercicio estructurante de la actividad científica y no meramente como un ejercicio modulatorio de la misma. Para ello nos concentraremos en la construcción figurativa desarrollada en un proceso concreto. Este proceso nos ofrece un número de prácticas de representación de datos observacionales y de modos de producción de conocimiento que pueden reconocerse también en otros ámbitos de la actividad científica. Con ello no pretende prejuzgarse la universalidad de los resultados aquí presentados para el conjunto de las prácticas representacionales en la ciencia. Pero nuestra interpretación permite abrir caminos para la comprensión de la práctica científica, identificar cuestiones para la investigación epistemológica y mostrar el interés de fijar la atención del estudio filosófico de la ciencia en prácticas y estrategias tradicionalmente obturadas en la filoso-

fía de la ciencia, en la medida que venían siendo consideradas como ejercicios de mera puntuación en la práctica sustantiva científica a considerar.

La cuestión suscitada es la siguiente: ¿cuáles son los elementos vinculados a la elaboración de una imagen digital en astrofísica? Como acaba de indicarse, la caracterización y las modalidades de acceso a la certificación cognitiva de las imágenes no han sido objeto de atención suficiente en el estudio filosófico de la ciencia.[1] La especificidad de este objeto se orienta aquí en un conjunto de prácticas cuya composición se centra en aspectos diferentes a los que han sido objeto de consideración en otros ámbitos como, por ejemplo, los de las ciencias articuladas sobre prácticas experimentales de laboratorio. Pero, junto a la cuestión anterior, plantearemos otra: ¿qué papel desempeñan las imágenes digitales en la práctica científica y cómo se relacionan con la realidad que pretenden representar?

La estructura del artículo es la siguiente: en la segunda sección ofreceremos un marco para la comprensión de la función representacional de las imágenes que se aleja de la comprensión tradicional lineal de las representaciones, para mostrar, a partir de algunas ideas de Duhem, el carácter interactivo de los ámbitos empírico y teórico en el proceso representacional. En la sección siguiente se mostrarán algunos ejemplos de imágenes astronómicas en los que se ejemplifica ese carácter interactivo o, como Duhem lo denomina, sintético. Pero esa interacción entre los ámbitos empírico y teórico no es directa e inmediata. En la cuarta sección se describe el largo camino de la interacción entre esos ámbitos. El proceso de construcción de las imágenes astrofísicas es el resultado de un mecanismo de ajuste permanente —de resistencia y acomodación— entre los datos observacionales y los modelos numéricos —gráficos— que se obtienen teóricamente. Concluiremos resumiendo los resultados alcanzados en la contribución.

---

1. Si bien algunos estudios promovieron este interés en la década de los ochenta, no tuvieron continuación en una línea de atención sostenida. Entre aquellos estudios pueden considerarse Lynch y Woolgar (1990) y los compilados en el número monográfico de *Biology and Philosophy* 5 (1990).

La naturaleza sintética de las representaciones científicas

La representación, en tanto que modo de producción cognitiva movilizado en diferentes prácticas humanas, ha sido objeto de atención en la epistemología y la filosofía de la ciencia. La interpretación tradicional concibe a las representaciones según una concepción lineal y secuencial del proceso de producción cognitiva. Es decir, según una concepción de la cognición identificada con un sistema de tratamiento lineal de la información, por la cual los datos observacionales operan a modo de entrada y, sucesivamente, la aplicación sobre ellos de marcos conceptuales y teóricos, permite concluir en una representación más compleja que da cuenta de los datos iniciales.

Una línea de discusión actual en esa problemática consiste en determinar las condiciones estructurales que deben requerirse de las representaciones, condiciones que identificarían los principios de la construcción representacional. Los resultados de esta discusión entre los filósofos de la ciencia gozan de gran actualidad y el debate es intenso.[2] Si bien en este debate se ha alcanzado un consenso suficientemente general sobre la no sujeción de la representación de condiciones estrictas de semejanza entre el representante y el representado, actualmente, el debate se produce sobre la conveniencia de introducir elementos pragmáticos en la determinación de las condiciones estructurales de la producción representacional —como pueden ser los relativos a la intencionalidad de los individuos singulares, las condiciones particulares de esa producción, los factores culturales, sociales, etc. (Giere 2004). No entraremos en estas consideraciones porque nuestro interés aquí se sitúa en otra dirección. Queremos dar cuenta de las dinámicas específicas de producción de imágenes en astrofísica. No pretendemos partir de una definición previa y estable de la representación para enmarcarla en ese objetivo y derivar por vía de consecuencia nuestro estudio al modo de un estudio de caso. Más bien pretendemos examinar si la representación involucrada en las imágenes astrofísicas es la misma que la representación de la filosofía de la ciencia, que descansa en la identificación de ciertos principios estructurales, o si, por

2. Pueden consultarse los artículos de la sección monográfica sobre representación contenidos en el número 55 de la revista *Theoria*.

el contrario, es distinta de ella y se hace uso de la misma de manera distinta a la prefijada en la filosofía de la ciencia.

De ahí que la presente contribución no sobrepase el estadio de una descripción mínima de algunas prácticas figurativas. Nuestro objetivo no es ni realizar una discusión de principio sobre la naturaleza de *la* representación ni proceder a una investigación empírica sobre cómo se utiliza la representación por los científicos. En el marco de un abordaje a un nuevo campo de estudio entendemos que es importante no universalizar la conceptualización de las representaciones o prácticas bajo consideración y sí, por el contrario, construir una aproximación que permita aprehender la pluralidad potencial de representaciones y prácticas a partir de un análisis singular específico. Sólo *a posteriori* podrá darse sentido a un fenómeno singular —sea representación, práctica figurativa, etc.—, tras poner en evidencia la diversidad de la naturaleza representacional o de las prácticas figurativas.

Para ello, y frente a la posición tradicional presentada al comienzo de esta sección, proponemos aproximarnos a la representación bajo el plano de la acción. En lugar de considerar las representaciones como estructuras más o menos completas y estáticas que de alguna manera «reflejan» aquello —externo— que pretenden representar, podemos conceptualizarlas más bien como esencialmente dinámicas e incompletas, esto es, como instrumentos de guía para la acción. Es decir, utilizamos las representaciones producidas de manera práctica para escrutar posibles respuestas en el entorno en el que se aplican. Una vez obtenida de este modo la información adicional, modificamos convenientemente la representación y continuamos con una nueva acción. Esta actividad circular permite observar a la representación en una perspectiva compleja: como modelo de algo y como representando algo en sentido estricto. La representación en un sentido más corriente se alcanza como un proceso de vaivén —o de pregunta y respuesta— de varios momentos entre lo que se escruta y nuestro esquema conceptual. Esta dinamicidad de las representaciones y la arbitrariedad de las relaciones con lo representado hace de las representaciones construcciones sumamente reversibles.

La aproximación general que proponemos a la representación se sustenta, por tanto, en ese aspecto interactivo que per-

mite comprenderla bajo una perspectiva procesual, como actividad. Duhem propuso una conceptualización algo más avanzada de esta aproximación al identificar la representación de la ciencia física como una actividad de síntesis —a partir de la cual se obtiene activamente información del mundo. Según Duhem, la práctica representacional de la ciencia es típicamente una práctica de manipulación de símbolos. Conviene detenerse en esta idea.

Poincaré había distinguido entre los hechos brutos —los datos obervacionales, podríamos llamar— y los hechos científicos —los datos obtenidos por la aplicación de la teoría. Estos últimos deben ser conformados previamente en el marco del simbolismo matemático en el que se integran y que conecta unos hechos científicos con otros. A pesar del común aire anti-machiano compartido con Poincaré, Duhem traza también una neta línea divisoria entre los hechos brutos y los hechos científicos, pero su diferencia no es ya de grado como en Poincaré sino de naturaleza. Los hechos científicos no son el resultado constatado de hechos de un determinado experimento. Son su representación en un «mundo ideal, abstracto, simbólico» constituido por las teorías que el científico considera establecidas (Duhem 1906, p. 240). El hecho científico es el resultado de una interpretación, de una constitución teórica realizada por un pequeño número de principios fundamentales, que representa lo percibido en el marco de una forma teórica. En consecuencia, los hechos científicos —como también los instrumentos de medición que los determinan cuantitativamente— sólo adquieren significación en el marco de esa forma teórica (tesis holista más radical que la de su versión Duhem/Quine). Para que los hechos sean científicamente operativos deben ser puestos, en los términos de Duhem, en forma simbólica.

Esta representación permite, de este modo, operar con símbolos teóricos que representan la conexión legal de los fenómenos en la estructura de esos símbolos. Esta idea es próxima a la expresada por Hertz (1894). Tanto para éste como para Duhem el símbolo de la teoría física no representa una realidad dada, como sostiene Mach, sino que prefigura una experiencia físicamente posible en el marco de un sistema de símbolos y de relaciones legales entre ellos. Si para Mach los símbolos son postfiguraciones (*Nach*bilder) y reproducciones de experiencias rea-

les —la teoría no es sino una adaptación a los hechos que tiene por función ofrecer una representación económica de los mismos—, para Hertz son pre-figuraciones (*Vor*bilder) de experimentos posibles (Hertz 1894, p. 1). Los símbolos no son imágenes de la realidad sino construcciones puramente teóricas, que desempeñan en la estructura de la teoría una función distinta a la asignada por Mach. No son abstracciones idealizadoras que tienen por función ofrecer una determinada descripción de la realidad —y que encuentran en ella su base— sino la obtención de una representación adecuada de unas magnitudes por otras —de ahí que el hecho teórico esté siempre infradeterminado por el dato observacional (Duhem 1906, p. 230). La naturaleza simbólica de la teoría permite establecer una relación entre los hechos de la experiencia y las leyes teóricas. ¿Cómo es esto posible?

Duhem sostiene que la manipulación de los símbolos está en parte constreñida «objetivamente», pero que existe un margen de maniobra para el «buen sentido» del físico. En otros términos, la epistemología de Duhem pretende hacer justicia a una forma de necesidad objetiva del producto del trabajo físico y que pueda poner en evidencia una práctica anclada en la capacidad de agencia del científico singular, en la estrategia individual del físico guiado por el «buen sentido» dentro de los márgenes de maniobra que las estructuras físicas autorizan. Uno de los rasgos más novedosos del enfoque de Duhem reside en el hecho de que muestra en las prácticas físicas descritas operaciones de ajuste que caracterizan la constitución de nuevas «realidades» físicas. Estas prácticas pueden resumirse como una actividad de síntesis de los hechos brutos y los teóricos. Esa síntesis es una actividad de resistencia y acomodación entre ambos ámbitos de hechos. De este modo, la teoría física a través de la síntesis constituye la realidad que representa (Duhem 1906, p. 39).

Desgraciadamente, la noción de síntesis introducida por Duhem adolece de especificación y es extremadamente confusa. En los diversos pasajes de su *La theórie physique* no puede discernirse cuál es la relación entre la necesidad objetiva y el buen sentido en la práctica de resistencia y acomodación entre los dos ámbitos de hechos. En Ibarra y Mormann (2000) se interpreta esa práctica como una construcción funcional de carácter homológico entre las estructuras de ambos ámbitos, según la cuál se

preserva el orden entre los elementos de los hechos teóricos y el de sus correlatos representados en el ámbito de los hechos brutos. Esa condición general de la correspondencia representacional permite la intervención tanto en el ámbito de los hechos teóricos —representaciones en sentido corriente— como en el de los hechos brutos —*constituyendo* el mundo a representar de la manera más adecuada, para recabar la información y datos necesarios. Remárquese que en esta aproximación no se estipulan condiciones de naturaleza estructural *stricto sensu* sobre los elementos correlacionados por la representación. Tampoco es necesario concebir el proceso representacional —*pace* Hertz— como uno explicitable paso a paso, sino que los vínculos o cadenas que relacionan los dos ámbitos pueden ser muy complejos y diversos (Latour 1999).

A falta de integrar un análisis más exhaustivo de las interacciones, las prácticas de ajuste y acomodación, en las que la síntesis opera, la imagen duhemiana de la representación física es escasamente convincente y las modalidades de asociación de los aspectos dicotómicos (constricciones objetivas, incorporación del «buen sentido») al enfoque representacional que adelanta no puede sino ofrecer una cierta impresión de arbitrariedad. ¿Es posible ofrecer una imagen que realice tal integración? El estudio de la elaboración progresiva de las imágenes de la astrofísica permite avanzar en la dirección de una respuesta afirmativa.

El carácter sintético de los dibujos de Galileo

Vamos a ver en un caso concreto en qué sentido es sintética la imagen de la Luna que Galileo produce a partir de sus observaciones telescópicas, utilizando las posibilidades de representación de la astronomía que, definitivamente con Newton, dará lugar a un análisis unitario de los fenómenos naturales, terrestres o celestes.

En 1610, en el contexto del cuestionamiento de las teorías astronómicas escolásticas fomentado por el resurgir del heliocentrismo, Galileo publica la obra *Sidereus Nuncius*. Más allá de la propuesta de un nuevo modelo matemático para la dinámica del Sistema Solar, Galileo presenta en esta obra las imágenes observadas mediante un telescopio, implicando por primera vez

consideraciones físicas sobre la naturaleza de los objetos celestes, en particular de los planetas. Podemos leer en dicha obra:

> [...] de la tantas veces repetida inspección de las mismas hemos derivado la opinión, que tenemos por firme, de que la superficie de la Luna y de los demás cuerpos celestes no es de hecho lisa, uniforme y de esfericidad exactísima, tal y como ha enseñado de ésta y de otros cuerpos celestes una numerosa cohorte de filósofos, sino que, por el contrario, es desigual, escabrosa y llena de cavidades y prominencias, no de otro modo que la propia faz de la Tierra, que presenta aquí y allá las crestas de las montañas y los abismos de los valles [Galileo 1610, p. 41].

La publicación se ve reforzada con las figuras elaboradas por Galileo a partir de sus propias observaciones telescópicas de la Luna, como argumento fundamental para conjeturar la unicidad del carácter físico de los objetos celestes y los objetos terrestres, superando radicalmente la física escolástica. El objetivo de Galileo no es el de reflejar la superficie de la Luna tal como se presenta en sus observaciones telescópicas. Galileo *constituye* esa superficie según un propósito singular: mostrar que ésta es tan rugosa como la de la Tierra —a diferencia de lo estipulado en la física escolástica. Este hecho aporta, en consecuencia, un argumento a favor de una única física que explique los fenómenos del movimiento, desde los de los satélites de Júpiter a los de la caída de los graves en la superficie terrestre.

Las imágenes que Galileo muestra en *Sidereus Nuncius* son el resultado de la síntesis duhemiana entre los datos y la teoría, es decir, el resultado de un proceso de resistencia y adecuación entre las observaciones y la teoría que procura una explicación física unitaria de fenómenos semejantes, como pretende la astronomía emergente —sobre la base, entre otros elementos, de superficies suficientemente similares. En este sentido, los dibujos que presenta Galileo son imágenes sintéticas que *constituyen* una realidad al tiempo que la representan (véase figura 1 izqda.). Si comparamos la imagen elaborada por Galileo con la cartografía actual, basada en fotografías digitalizadas, observamos que Galileo exagera en su dibujo dos rasgos esenciales del relieve lunar, prácticamente inobservables a simple vista (véase figura 1 dcha.), pero que resultan muy llamativos en la observación telescópica.

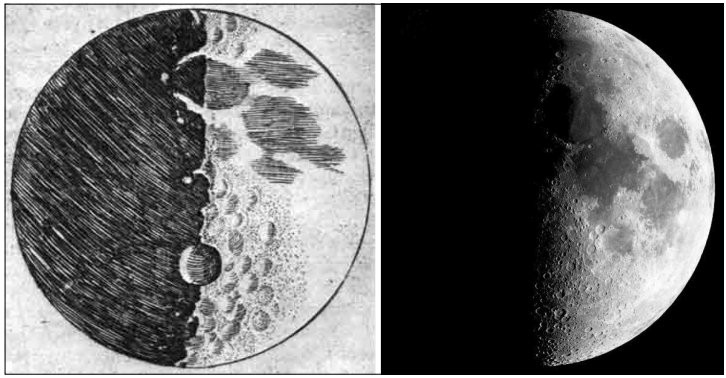


FIGURA 1. Galileo, *Sidereus nuncius*, 1610 (izqda.)
S.M. Chong *et al.*, *Photographic Atlas of the Moon*, 2002 (dcha.)

Por una parte, la luz del Sol saliente sobre las cordilleras que rodean el mar de la Serenidad en el norte de la imagen, y por otra, el contraste de claroscuros producidos por la luz rasante en el cráter Albategnius al sur de la parte central (véase figura 2).

Galileo construye su representación resaltando los rasgos relevantes de su observación, el relieve lunar en este caso, sacrificando la escala. Evidentemente, el objetivo de Galileo en esta publicación no era elaborar un mapa de la Luna que reflejara a ésta de manera especular sino, como se ha indicado ya, poner de manifiesto el carácter accidentado de la superficie lunar de forma eficaz. La función representacional de un sistema teórico no es reproducir o recrear la experiencia tal como se nos presenta, sino más bien hacer una cartografía de ella, en un sentido próximo al expresado por Goodman para el caso de un sistema de construcción conceptual:

> La función de un sistema de construcción no es recrear la experiencia sino más bien hacer un mapa de ella. [...] Un mapa es esquemático, selectivo, convencional, condensado y uniforme. Y estas características son virtudes más que defectos. El mapa no sólo resume, clarifica y sistematiza; a menudo muestra datos que difícilmente podríamos conocer de manera inmediata siguiendo nuestras exploraciones [Goodman 1963, p. 552].

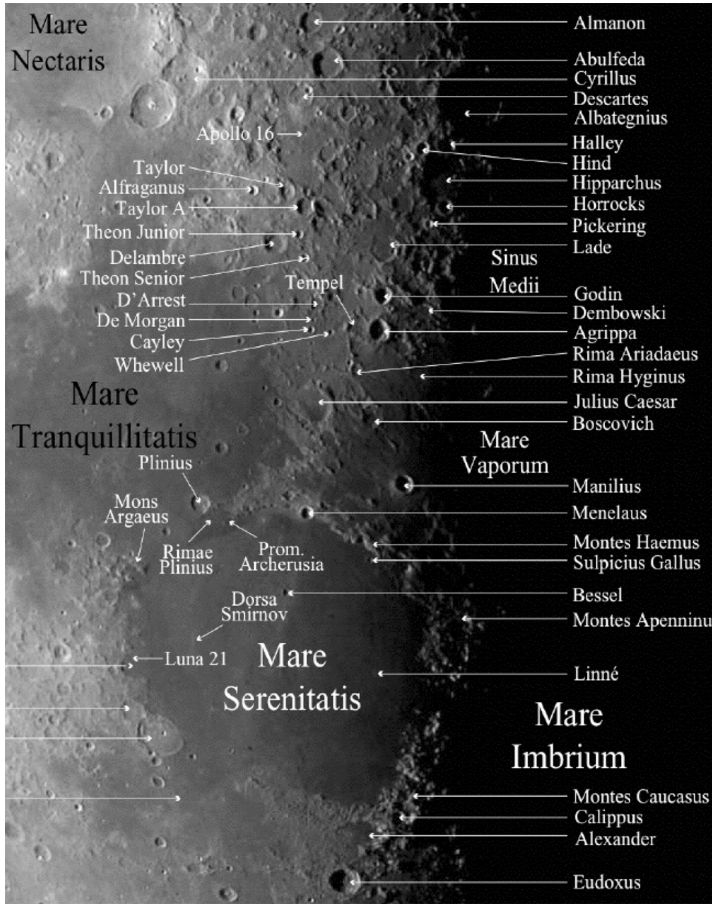


FIGURA 2. S.M. Chong *et al., Photographic Atlas of the Moon*, 2002

Los elementos teóricos no tienen por objetivo reflejar la realidad sino facultar la construcción de representaciones al modo de mapas, que puedan utilizarse para propósitos diversos: podemos construir un mapa de una ciudad a partir del mapa de las carreteras de la ciudad o a partir del mapa de su sistema de metro. Los mapas resultantes *constituyen* la realidad de la ciudad de manera muy distinta. De manera semejante, las teorías permiten construir representaciones de la realidad simplificando, estilizando,

clasificando convencionalmente los datos. Mapas y teorías representan sintéticamente la realidad bajo escrutinio.

En un sentido semejante al estimado inicialmente, podríamos considerar también en una primera aproximación que las imágenes astronómicas actuales, dado el carácter fotográfico de las mismas, representan la realidad correspondiente de manera especular. Obsérvese, por ejemplo, la imagen de Saturno (véase figura 3, en color).

La fotografía de Saturno aquí presentada, obtenida por la sonda espacial Cassini en órbita en torno a dicho planeta, está formada por un mosaico de imágenes ensambladas, los colores están acentuados artificialmente, y las imperfecciones han sido borradas. Como resultado, la imagen representa a Saturno de acuerdo con determinado propósito, en este caso, el de difundir una información fácilmente accesible para el público. Las técnicas de tratamiento de imágenes astronómicas permiten resaltar los aspectos más notables del objeto representado. Una imagen bruta, llena de artefactos instrumentales, sólo sería comprensible para los especialistas, mientras que el objetivo de la representación en este caso es el de presentar una imagen accesible a un público lo más amplio posible.

En otros casos y para otros propósitos, la constitución de la realidad a través de las imágenes mediadoras entre las observaciones y las teorías que dan cuenta de ellas explicita justamente elementos desconsiderados en la imagen anterior. Así, la posibilidad técnica de enviar instrumental científico hasta las inmediaciones de los planetas del Sistema Solar, y en algunos casos hasta la propia superficie de los mismos, continúa el proyecto de Galileo de extraer a los cuerpos celestes del mundo ideal intangible, para ponerlos al alcance de nuestra percepción (véase figura 4, en color).

Esta imagen de la superficie de Marte ha sido construida con datos obtenidos por el vehículo Spirit durante sus desplazamientos sobre la orografía del planeta. A pesar de haber recibido un tratamiento similar al descrito previamente, para un espíritu galileano no tendría ningún sentido desdeñar la impresionante cantidad de información que nos transmite esta imagen, en particular la relativa a los accidentes de la superficie marciana.

En los tres casos considerados se ha presentado el mecanismo sintético en un único momento representacional. Habitualmente, sin embargo, las imágenes astronómicas son el resultado

de un largo proceso de construcción representacional que vincula *a distancia* —podría decirse— los datos observacionales y la teoría. La actividad figurativa de construcción de las imágenes digitales en astrofísica ejemplifica el largo recorrido de las cadenas representacionales construidas.

La cadena representacional de la construcción de imágenes astrofísicas

Las imágenes astrofísicas son el resultado de un largo proceso de elaboración de cadenas representacionales que involucran *media* o escenarios muy diversos de representación que median entre el objeto observado y la imagen registrada.

La utilización de sondas espaciales nos ha acercado físicamente a los planetas, ofreciéndonos en cierto sentido una percepción de los mismos más próxima a nuestra experiencia intuitiva. Sin embargo, las imágenes producidas son resultado de un largo camino de mediación entre la sonda y la teoría, y adquieren existencia genuina en sí mismas. En ese sentido las imágenes de la astrofísica son mediadoras entre los modelos de datos observacionales y los dispositivos teóricos. Identifican un tercer nivel entre ellos, habitualmente poco considerado en los estudios sobre la ciencia (pero véase al respecto Morgan y Morrison [eds.] 1999). En esta contribución procuraremos abrir la caja negra de ese tercer nivel, mostrando el complejo proceso de construcción representacional que se encripta en la cualificación de imágenes como modelos numéricos.

El procesado numérico de imágenes sigue en la mayor parte de las situaciones una serie de etapas características. En primer lugar, las imágenes son captadas en formato digital por dispositivos de acoplamiento de carga (CCD), en general a través de filtros que limitan la longitud de onda estudiada; cada longitud de onda concreta corresponde en astrofísica a una serie de fenómenos característicos, que conviene individualizar. El detector acumula en cada celda o píxel de una cuadrícula diferentes intensidades luminosas. Así, la resolución de la fotografía dependerá de la densidad de la cuadrícula del CCD que recoge la imagen.

A continuación, la formación de fotografías en color requiere superponer imágenes de un mismo objeto, capturadas en longi-

tudes de onda distintas. Según la elección de filtros realizada, se obtendrá una restitución de los colores naturales, tal y como los capta el ojo humano, o bien obtendremos una imagen compuesta por longitudes de onda diferentes a las visibles. El interés de esta última consiste en poner de manifiesto características físicas específicas del objeto observado, aunque puedan escapar a las frecuencias percibidas dentro de los límites de nuestra fisiología. Nada impide, por ejemplo, presentar una imagen con la radiación capturada en longitudes de onda del ámbito de los rayos X o de las ondas de radio.

La suma de imágenes debe realizarse compensando los niveles de intensidad, de modo que el contraste entre los elementos de la imagen sea lo suficientemente nítido, pero sin hacer desaparecer los detalles de la imagen (véase figura 5, en color). Concluido este proceso, se atribuye a cada una de las capas de la imagen un color, correspondiente en principio a la longitud de onda del filtro utilizado para su obtención. Sin embargo, se puede optar por una combinación que produzca una imagen en falso color, que resalte visualmente aspectos de interés para un estudio concreto. La atribución de colores arbitrarios es necesaria, por ejemplo, para representar imágenes obtenidas fuera del espectro visible.

La imagen definitiva se obtendrá eliminando píxeles defectuosos y otros artefactos instrumentales, de forma semejante a como corregimos en un ordenador personal los ojos rojos de una fotografía familiar obtenida con el uso de un *flash* (véase figura 6, en color).

Más arriba se presentó la construcción de representaciones en Duhem como un proceso de resistencias y acomodaciones regido por constricciones objetivas y el buen sentido científico. En el proceso que acaba de describirse, el resultado final es la resultante de las constricciones de los datos observacionales y del conjunto de habilidades operatorias con la combinatoria de representaciones que se abren en el espacio de posibilidades de la representación. Este proceso está determinado, en efecto, por el espacio de esas posiblidades. Con frecuencia, ese espacio es el resultado de la interacción (siguiendo el mecanismo de ajuste de resistencia/acomodación) entre los datos procurados por los instrumentos de recogida de los mismos y los modelos ofrecidos por la teoría. Más en concreto, con representaciones gráficas obtenidas a partir de

simulaciones teóricas. En la figura 7 puede observarse la simulación numérica de las galaxias Antennae obtenida en 1988 como modelo estrictamente teórico-numérico, a partir de la teoría.

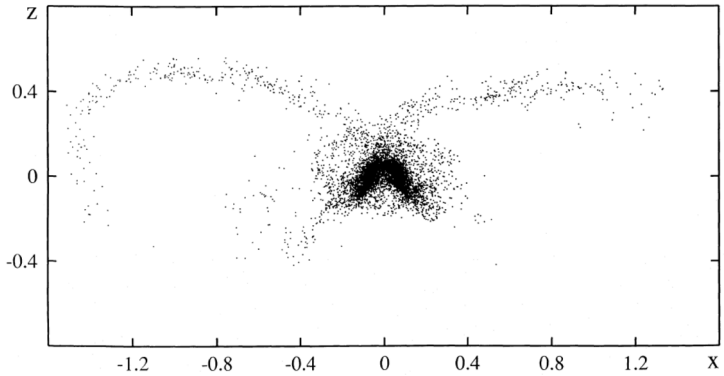
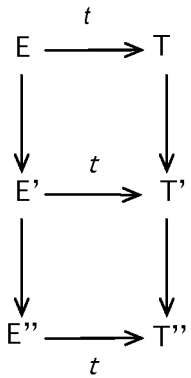


FIGURA 7: Simulación numérica de las galaxias Antennae, J.E. Barnes, *The Astrophysical Journal* 331, 1988, 699-717

Los datos observacionales y el modelo numérico teórico construyen un espacio de posibilidades para la representación figurativa de los fenómenos naturales —en este caso de fenómenos de determinadas galaxias. Diagramáticamente podría representarse este espacio de posiblidades como el campo de interacciones entre dos ámbitos procesuales, E y T.



El proceso de la izquierda está determinado por las observaciones realizadas en diversos momentos. Momentos a los que se hace corresponder con las respectivas simulaciones teóricas —modelos numéricos— obtenidos de la teoría astrofísica —lado derecho del diagrama. La correspondencia entre ambos lados del diagrama no es *stricto sensu* estructural, sino que preserva el orden o la «lógica» de las correspondencias —en otras palabras, no es de carácter homomórfico sino homológico. La condición para la objetividad de las representaciones viene determinada por la verificación de la conmutatividad del diagrama. Es decir, intuitivamente, por el hecho de que sea cual fuere el camino que tomamos a partir de E se alcanza T":

$$E * E' * E'' * T'' = E * E' * T' * T'' = E * T * T' * T''$$

Estas combinatorias entre los datos y las simulaciones numéricas permiten ir construyendo representaciones figurativas que confirmen los modelos teóricos avanzados o que identifiquen una heurística positiva.

En realidad el proceso es más complejo en un doble sentido: i) en primer lugar, porque la relación $E \xrightarrow{t} T$ no es directa, como parece sugerirse en el diagrama, sino, como se ha mostrado en la descripción anterior, un largo camino de representaciones en los que se va construyendo la representación figurativa más adecuada, según la dinámica de ajuste de resistencia/acomodación entre datos y modelos teóricos; ii) en segundo lugar, porque la validez o acreditación de una imagen singular es el resultado de un amplio número de observaciones sucesivas del mismo objeto realizadas por equipos independientes. El espacio de posibilidades de la representación figurativa no se reduce, por lo tanto, al de la metáfora de un diagrama sencillo como el considerado, sino que, dado que el mecanismo de resistencia y acomodación prosigue medios más indirectos, se requiere de diagramas más complejos y de conceptualizaciones más sofisticadas para dar cuenta de las complejas prácticas involucradas en la actividad figurativa de la astrofísica (Ibarra y Mormann 2006).

Conclusión

Las teorías tradicionales de las representaciones científicas se desarrollan habitualmente según una concepción lineal y secuencial del proceso de producción cognitiva. En otras palabras, según una concepción de la cognición identificada con un sistema de tratamiento lineal de la información, por el cual los datos observacionales operan a modo de entrada y, sucesivamente, la aplicación sobre ellos de marcos conceptuales y teóricos, permiten concluir en una representación más compleja que permite dar cuenta de —explicar— los datos iniciales.

Frente a esa concepción de la representación, el punto de vista que hemos sostenido en la contribución ha sido el de considerar preferente el aspecto interactivo de la representación, que caracteriza a ésta sobre todo bajo la perspectiva procesual, como una actividad. En sintonía con la propuesta de Duhem, hemos procurado mostrar que las representaciones científicas son sistemas esencialmente activos que *constituyen* las informaciones que se encuentran en el origen de la experiencia —datos observacionales— y las representan de manera más compleja, mediante mecanismos de resistencia y acomodación.

En particular, hemos considerado este mecanismo —que Duhem denomina de *síntesis*— en la teorización representacional de la astrofísica. La actividad figurativa es central en este ámbito Las imágenes visuales no se basan meramente en datos observacionales ni, estrictamente, en la información contenida en las propiedades estructurales de esos datos. En otras palabras, las representaciones visuales en la astrofísica no se obtienen a partir de determinadas propiedades estructurales de los modelos de datos observacionales sino que, más bien, las imágenes se construyen preservando ciertas combinatorias posibles en la interacción entre los modelos teóricos y los datos de observación. Por un lado, las imágenes astronómicas se construyen mediante complejos procesamientos digitales de las imágenes brutas producidas en los detectores. Los modelos numéricos —teóricos— se construyen como gráficos a partir de los procedimientos de análisis diferencial e integración que permiten representar fenómenos de manera teórica. En la interacción entre los datos y las simulaciones numéricas se construye un espacio de posibilidades para la acción figurativa de la astronomía.

Referencias bibliográficas

DUHEM, P. (1906), *La théorie physique. Son objet-sa structure*, Vrin, París, 1989.

GALILEO (1610), *El mensaje y el mensajero sideral* (*Sidereus Nuncius*), Alianza, Madrid, 1984.

GIERE, R. (2004), «How Models Are Used to Represent Physical Reality», en *Philosophy of Science,* vol. 71, pp. 742-752.

GOODMAN, N. (1963), «The Significance of *Der Logische Aufbau*», en P.A. Schilpp (ed.), *The Philosophy of Rudolf Carnap*, Open Court, La Salle, pp. 545-558.

HERTZ, H. (1894), *Die Prinzipien der Mechanik in neuem Zusammenhange dargestellt*, Darmstadt, 1963.

IBARRA, A. y T. MORMANN (2000), «Una teoría combinatoria de la representación científica», en *Crítica*, vol. 32, n.º 95, pp. 3-46.

— (2006), «Scientific Theories as Intervening Representations», en *Theoria,* vol. 55, pp. 21-38.

LATOUR, B. (1999), *La esperanza de Pandora*, Gedisa, Barcelona.

LYNCH, M. y S. WOOLGAR (1990), *Representation in Scientific Practice*, MIT Press, Cambridge, MA.

MORGAN, M.S. y M. MORRISON (eds.) (1999), *Models as Mediators*: *Perspectives on Natural and Social Science*, Cambridge University Press, Cambridge.

EXTRAÑOS PAISAJES VIRTUALES DE LA ECOLOGÍA: EL COENOESPACIO Y LA REPRESENTACIÓN DE COMUNIDADES BIÓTICAS

Diego Méndez Granados
UAM-Cuajimalpa, México

Introducción

Desde la óptica de las concepciones semánticas de la filosofía de la ciencia, las teorías científicas son entidades extra-lingüísticas: lo que identifica a una teoría no es una determinada colección de enunciados, sino una familia de modelos, los cuales admiten diversas formulaciones, sin privilegio a un lenguaje o formato particular. Ahora bien, la voz «modelo» tiene múltiples acepciones, y las distintas corrientes semanticistas no se ciernen a una sola. Según las preferencias de los autores involucrados, los modelos son dispositivos representacionales que median entre la teoría y el mundo (Giere 1999), o son sistemas empíricos a los cuales se pretende aplicar una teoría (Díez y Moulines 1999), o bien la estructura conceptual de la teoría es el modelo de las formulaciones lingüísticas de dicha teoría (Suppe 1977). De cualquier manera, la caracterización extra-lingüística da cabida a una apreciación interesante de las imágenes en los artículos especializados o textos de divulgación científica, pues algunas de ellas, más que reproducir un objeto natural, tienen por cometido ilustrar la estructura conceptual de una teoría particular (o bien ilustrar la estructura de un sistema que cae dentro del ámbito de aplicaciones de dicha teoría). Por supuesto que el cabal entendimiento del pictograma requiere una narrativa acompañante, la cual suele ser suministrada en los pies de figura y en el texto que circunda el espacio de la ilustración. Aun así, la imagen brinda, en un recuadro, el armazón de relaciones y entidades (interpretadas en mayor o menor grado de generalidad) que describe a la teoría en cuestión.

Ahora bien, uno de los objetivos del presente escrito es argumentar y exponer que, además de lo anterior, ciertas representaciones parecen ocupar una especie de «zona gris» entre teoría y sistema de datos, donde los datos en cuestión ya están muy pulidos e idealizados. Tales representaciones, que suelen ser gráficas (o bien el medio idóneo para dar cuenta de ellas es la imagen), revelan una estructura profunda, subyacente al sistema bajo estudio, pero no exponen la anatomía de una teoría particular, en buena medida porque esta última aún no está disponible. Sin embargo, acusan ciertos comportamientos que son análogos a los de las teorías empíricas.

En aras de apuntalar la hipótesis, el trabajo a continuación pone de relieve dos casos del ámbito de la biología. Uno de ellos se refiere a la genética y sirve para mostrar una imagen que recrea la estructura conceptual de una teoría particular; el otro (al que está dedicada la mayor parte del artículo) proviene de la ecología de comunidades y se presenta aquí con el fin de ofrecer un ejemplar de la zona gris mencionada antes, esto es, de esquema transitorio entre el dominio de los datos y el de la teoría. Pudiera parecer ingenuo demarcar estos dos tipos de figuras, como si el acopio, tratamiento y presentación de datos no estuviesen imbuidos de teoricidad. No se niega la carga teórica de tales procesos, ni la de ilustraciones que acompañan los textos científicos; pero no toda imagen en esos escritos es una formulación icónica o pictográfica de una teoría específica.

Por otra parte, el fin perseguido exige un marco preciso tocante a la caracterización de teoría científica. Algunos enfoques son tan laxos que incluyen todo tipo de conceptuaciones en dicha categoría, y así el distingo que se ha tratado de establecer en los párrafos anteriores resulta ilusorio. Otras iniciativas proponen criterios mucho más rigurosos y, de hecho, en ocasiones aquello que los científicos denominan teoría no tiene cabida en la esfera que algunos filósofos de la ciencia denominan con el mismo rótulo. Para los fines del presente trabajo, conviene tomar una caracterización estricta como estándar de teoricidad máxima, pues finalmente lo que se está argumentando es que la ciencia ofrece esquemas conceptuales con distintos grados de teoricidad y dichos esquemas se dibujan en los textos científicos.

La Concepción Estructural, una de las corrientes semanticistas, parece un buen candidato, pues despliega un aparato suma-

mente detallado para delimitar la noción de teoría científica. Dar una descripción completa del programa estructuralista rebasa los fines del presente trabajo, solamente se destacan tres aspectos importantes:[1]

i) A los modelos constitutivos de una teoría empírica T subyace una estructura de relaciones y dominios,[2] gobernada por una ley fundamental que indica cómo se articulan tales componentes.

ii) Una parte del armazón conceptual consiste en entidades y relaciones previas a la teoría, la porción restante se compone de términos que la teoría introduce, esto es, cuya determinación supone la validez de la ley fundamental. Los términos introducidos, digamos por una teoría T, reciben el apelativo general de «términos T-teóricos». El mote de «términos no T-teóricos» se reserva para aquellas relaciones que no presuponen la ley fundamental de T. De este modo, la teoricidad es relativa: supóngase que α, β y χ son términos T-teóricos y, además, aparecen en una teoría Q. Si en

---

1. Esta descripción no hace justicia a la riqueza del programa estructuralista. Blazer *et al*. (1987) ofrece una exposición completa (1987); y Díez y Lorenzano (2002), un resumen muy accesible.

2. En la concepción estructural, la voz «modelo» se refiere a parcelas del mundo, en el entendido de que estas parcelas son modelos de la teoría y no al revés. Blazer *et al*. (1987, p. 2) lo expresan así: «Logicians and mathematicians consistently use "model" in the sense of the thing depicted by a picture (= by a *theory*). Since this second use of "model" is well-established and clearly defined in the formal sciences, it is the one we are going to adopt here. Therefore, instead of saying that certain equations are a model of subatomic or economic phenomena, we propose to say that the subatomic or economic phenomena are models of the theory represented by those equations. This use of "model" in the sense of "the thing depicted" is by no means restricted to logic and mathematics. It also appears in ordinary language, e.g. when one says that a woman is the model of a painting». A veces los estructuralistas utilizan «modelo» en un sentido ambiguo, donde es un dispositivo que representa un trozo de realidad pero también un trozo de la realidad que *realiza* una teoría. Por ejemplo, Díez y Lorenzano (2002, p. 28) afirman: «Un modelo, en su acepción informal mínima, es un sistema o estructura que pretende representar, de manera más o menos aproximada, un "trozo de la realidad", construido por entidades de diverso tipo, que *realiza* una serie de afirmaciones en el sentido de que en dicho sistema "pasa lo que las afirmaciones dicen" o, más precisamente, las afirmaciones son verdaderas en ese sistema. Por ejemplo, si tomamos los principios monárquicos más generales, entonces España, Holanda, Bélgica, Suecia, etc., en tanto que sistemas o "partes de la realidad", son modelos de dichos principios, mientras que Francia e Italia no lo son».

este segundo contexto su determinación no involucra la ley fundamental de Q, entonces no son términos teóricos de Q.

iii) La teoría T puede presentar leyes especiales que constriñen las posibilidades de la ley fundamental, lo cual da lugar a especializaciones de T, esto es, a variantes con campos de aplicación más acotados. A modo de ejemplo, la estructura que da cuenta de los osciladores armónicos es una especialización de la mecánica clásica de partículas. Por tanto, las teorías se corresponden con redes de especialización.

En lo que sigue, se pone de realce que el ejemplo tomado de la genética empata bien con los tres incisos recién esbozados (además, facilita una mejor comprensión de ellos), mientras que el desarrollo extraído de la ecología no cumple con todo los elementos señalados en esos rubros; sin embargo, acata algunos de ellos y esto le confiere ciertas propiedades «teoriformes», por llamarlas de alguna manera. Pero antes de proseguir, es menester indicar cuál es este producto de la investigación ecológica y por qué razones se ha decidido resaltarlo.

El asunto a discutir proviene de la ecología vegetal y recibe el nombre de «coenoespacio». A grandes rasgos, se trata de un marco que integra curvas de adecuación o desempeño ecológico de ciertas especies privilegiadas, en atención a una o varias tendencias de variación ambiental independientes. Más adelante se da una descripción pormenorizada; por lo pronto, baste señalar que, en primer lugar, se trata de una propuesta científica cuya exposición en la literatura especializada está íntimamente relacionada con la presentación de imágenes. No es descabellado decir que las formulaciones usuales tocantes al coenoespacio son más gráficas que narrativas. Por otra parte, la ecología ha recibido poca atención de la filosofía de la ciencia, y el presente escrito pretende contribuir a llenar ese hueco. De hecho, la ecología es una disciplina con bajo nivel de teorización: si bien ofrece un alud de modelos matemáticos tocantes a las relaciones entre organismos, así como entre éstos y el ambiente, no cuenta con teorías unificadoras que articulen las investigaciones en este dominio. Tal afirmación la sostienen tanto ecólogos (Pianka 1983) como los pocos filósofos que han incursionado en el campo (Cooper 2003). No en balde, entonces, la literatura ecológica ofrece esta clase de objetos conceptuales que están a mitad de camino entre el dato y la teoría. El coenespacio es uno de ellos.

La genética en imagen

La figura 1 despliega una composición muy socorrida en los libros de genética: el diagrama de Punnett. Aquí aparecen retratados, mediante rótulos, íconos, flechas y disposiciones espaciales *ad hoc*, organismos progenitores con características distintas, gametos de esos padres, un prototipo de vástago de la primera generación con el fenotipo (descripción con base en características mendelianas) bien resaltado, las células sexuales de aquél y un recuadro donde destacan vicarios de los hijos de la segunda generación, luciendo sus respectivos fenotipos.

Si se eliminan las letras *C* y *c,* así como sus combinaciones, pero todo lo demás queda igual, ninguno de los íconos se corres-

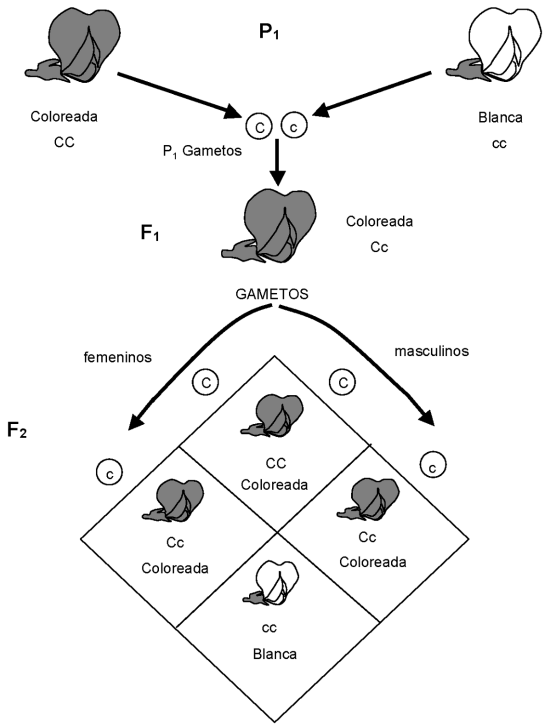


FIGURA 1. Ejemplo de diagrama de Punnett (tomado de Sinnot *et al.* 1972)

pondería con los términos que la genética introduce para explicar la herencia. El esquema representaría, quizá, los datos idealizados de algún programa de cruza, un sistema que potencialmente pudiera ser subordinado a las leyes de la genética. Pero con la introducción de las letras —y la concomitante interpretación de que simbolizan genes alelos— la figura 1 pone en juego todo el aparato que la genética mendeliana (en estricto sentido, una especialización suya: la dominancia completa) esgrime para dar cuenta de la transmisión de caracteres.[3]

El hecho de que los glóbulos rotulados «gametos» presenten una letra en el interior destaca un supuesto toral de la genética, a saber: que las células sexuales portan series de genes —aunque en este caso sólo se trata de uno.[4] Los distintos pares de letras bajo los íconos de las flores, aunado a que dichas flores lucen tonalidades diferentes, ponen de relieve que los organismos portan genotipos, en este caso el par de letras, que determinan los fenotipos (aquí circunscritos al color de la flor). La estructura pareada de los genotipos se debe a la conjunción de dos series de genes: una de ellas portada por el gameto masculino que participó en el evento fecundador del cual surgiera el individuo, y la otra correspondiente al óvulo que también participó en ese evento. Más aún, dado un genotipo, es posible saber el tipo de gametos que se deriven de él. Por otra parte, el hecho de que los genotipos *CC* y *Cc* redunden en el mismo fenotipo, pone de relieve que el gen *C* domina sobre el gen *c*. Las relaciones entre genes y características, así como entre gametos y las series de genes que contienen, corresponden a los términos genético-teóricos. Finalmente, el esquema señala los genotipos y fenotipos de los hijos posibles de dos padres con genotipos conocidos. Esto último viene a ser la ley fundamental de la genética mendeliana, aunque constreñida por las reglas de dominancia entre genes alelos.

Quien lea un libro de texto sobre genética, además de imágenes como la figura 1, se encontrará con ilustraciones de otras

---

3. Mario Casanueva y Pablo Lorenzano, en diversas conversaciones conmigo (incontables en el caso del primero), me brindaron la idea de que la estructura conceptual de la genética mendeliana está inscrita en los diagramas de Punnett.

4. Balzer y Dowe (1991); Casanueva (2003) y Lorenzano (2000) han reconstruido la genética con el aparato de la Concepción Estructural, pero sólo Casanueva ha hecho hincapié en las fórmulas gaméticas.

variantes de la interacción gen-característica, a saber: la co-dominancia, epistasis, pleiotropía, etcétera. Es decir, se topará con distintas especializaciones de la genética mendeliana.

Componentes del coenoespacio

Arriba se indicó que el coenoespacio de la ecología de comunidades no se amolda bien a las distinciones de la Concepción Estructural. No parecen destacarse términos «coenoespacio-teóricos» y es cuestionable postular la existencia de una ley fundamental. Aún así, la literatura ecológica presenta diversas variantes del esquema, las cuales, vistas en conjunto, sugieren algo semejante a una red de especializaciones. Pero para seguir discutiendo este punto es menester pormenorizar el concepto de coenoespacio.[5]

Además de la locución «coenoespacio», la literatura ofrece otros apelativos, a saber: «continuo vegetacional», «gradiente de comunidades», «ecotopo» y «coenoclina». En adelante, se hará uso de ellos para evitar la monotonía. Si bien son propios de los estudios de vegetación, el referente conceptual igualmente es útil para cualquier comunidad de organismos que pasan la mayor parte de su ciclo de vida fijados a un sustrato (organismos sésiles).[6] Así, bentos, poliquetos, corales —todos ellos del reino animal— también

---

5. Las primeras representaciones del coenoespacio datan de la década de los treinta del siglo XX, en reportes soviéticos y polacos (Maycock 1967, Whittaker 1967). En la Norteamérica de los años cincuenta, Curtis y McIntosh (1951) y Whittaker (1956), retomaron la idea y reconocieron su deuda intelectual con los desarrollos europeo-orientales, particularmente los soviéticos. A partir de la década de los setenta, diagramas representativos de coenoespacios figuran en múltiples libros universitarios de ecología. Entre ellos cabe mencionar Begon, Harper y Townsend (1988), Dodson *et al*. (1998), Forman y Godron (1986), Huston (1994), Margalef (1989), McNaughton y Wolf (1979), Pianka (1983), Putman (1994). Por lo regular, tales diagramas despuntan en las secciones referentes a organización comunitaria o teoría de nicho. Así, el coenoespacio ya es un ícono fijado en la literatura destinada a la formación de nuevos ecólogos.

6. «Comunidad» es un término espinoso, aunque ubicuo en la literatura ecológica. Puede referirse a todo el complemento de organismos que habitan un área; y todo significa TODO; o bien al conjunto de seres vivos, correspondientes a especies selectas; o bien a un ensamble ideal de especies o formas de vida.

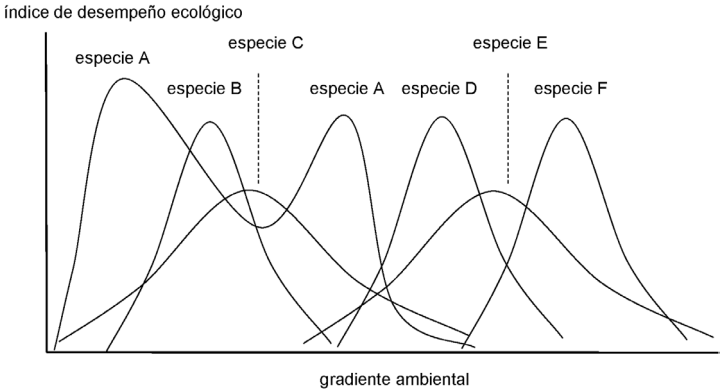


FIGURA 2. Ejemplo hipotético de coenoespacio en relación a un gradiente ambiental (coenoclina)

describen espacios semejantes. En aras de fijar ideas, conviene ahora presentar una imagen de esta noción (véase figura 2), luego mencionar los componentes básicos y, posteriormente, desplegar cada uno de ellos.

El coenoespacio se compone de los siguientes elementos: 1) una serie de ejes, por lo general isomorfos con la recta de los números reales, representativos de gradientes ambientales, esto es, direcciones en las cuales determinados procesos bio-físico-químicos varían de manera sistemática; 2) una escala continua, referente a algún tipo de medida de desempeño ecológico; 3) una serie de curvas o superficies, indicativas de los desempeños ecológicos de un alud correspondiente de grupos taxonómicos —usualmente especies—, en relación a los ejes mencionados en el primer inciso. La naturaleza de los gradientes y los organismos a tomar en cuenta son cuestiones que dependen del contexto local y de lo que el ecólogo decide privilegiar.

La figura 2 pone de relieve una coenoclina, esto es, una secuencia de distribuciones que se levanta sobre un solo eje ambiental. Los diagramas 3 y 4 presentan casos donde la vegetación (o comunidad de organismos sésiles) está surcada por dos gradientes.

En la figura 4 las distribuciones sobre el plano están sugeridas por óvalos, correspondientes a las bases de dichas superfi-

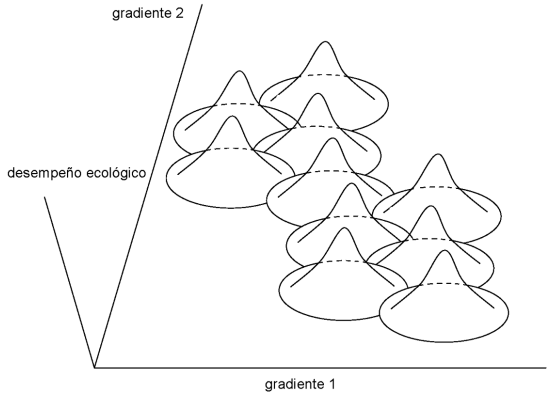


FIGURA 3. Ejemplo hipotético de coenoespacio en relación a dos gradientes ambientales

cies; además, la ilustración muestra las composiciones de curvas parciales, en las proyectivas a uno y otro eje-hábitat. Ahora bien, un modelo de ecotopo puede estar constituido por más de dos gradientes ambientales y en tal caso es menester recurrir a la narrativa para dar cuenta de él.[7] Aún así, los recursos visuales siguen jugando un papel: la descripción se puede convertir en una serie de imágenes, proyectando el arreglo a configuraciones de menor dimensionalidad, sea a las coenoclinas de cada eje por separado, sea a todos los planos posibles de pares de gradientes. La literatura ecológica ofrece varios relatos tocantes a coenoespacios multidimensionales, que abundan en locuciones técnicas, necesarias para dar una idea general (véase, por ejemplo, Gauch *et al*. 1981). Tales tecnicismos se aprenden con ejemplares de menor dimensionalidad, como los de las figuras 2 a 4. Por tanto, en este particular campo de la ecología, la narrativa está fuertemente subordinada a la visualidad.

Antes de continuar, conviene darle nombre al subespacio del ecotopo que sólo se circunscribe al sistema de gradientes: llámese «plano ambiental» en el entendido de que puede ser un hiper-

7. A diferencia de lo escrito en la nota 2, aquí y en lo que sigue del texto la voz «modelo» se utiliza en el sentido de esquema o artefacto empleado para representar algo.

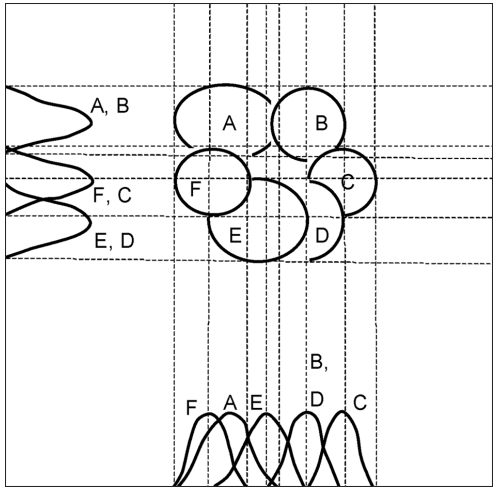


FIGURA 4. Ejemplo hipotético de coenoespacio en relación a dos gradientes ambientales, con proyección de superficies (tomado de Pianka 1983)

plano. ¿A qué cosas refieren los puntos allí contenidos? Se corresponden con áreas homogéneas y conexas del paisaje bajo estudio. Un subconjunto de ellos representan las localidades donde el ecólogo censa los organismos allí presentes y, además, recopila una serie de datos ambientales, tales como la temperatura media del aire a lo largo del año, la precipitación anual, la concentración de calcio en el suelo y cosas por el estilo.

En la literatura, dichas locaciones suelen designarse con el poco imaginativo nombre de «sitio» (*site*), aunque también cabe llamarlos «cuadrantes», «estaciones», «censos», *revelé*, *stand* y *plot*. El tamaño es variable y depende de la vegetación que se pretende examinar: si acaso se trata de los extensos bosques de una amplia zona geográfica, los sitios pueden presentar dimensiones de varias hectáreas; o bien, si el paisaje se reduce a un pequeño páramo, ocupan unos cuantos metros cuadrados. De cualquier manera, soportan un ensamble biótico más o menos uniforme, en tanto que no hay ninguna variación sistemática notoria en la distribución de los tipos de organismos sobre el área. Para ilustrar con un contraejemplo un tanto burdo, el sitio

no puede ser pastizal en su lado norte y bosque en su lado sur, pero sí podría ser un terreno boscoso con pastos en el estrato inferior; a esto se refiere la noción de homogeneidad. Por otra parte, el área de la unidad de muestreo debe ser la mínima que soporta una biodiversidad representativa de la que existe en el entorno circundante, lo cual no significa que sea representativa de la diversidad en toda la zona de estudio, pues ésta puede extenderse decenas de kilómetros.

Cada gradiente ambiental se corresponde con una escala de medidas, atinentes a algún proceso físico, químico o biológico que ocurre en los sitios. En realidad, esto no es del todo exacto: más bien las medidas destacan los valores de las «trazas» o efectos generados por una compleja red de interacciones bióticas y abióticas. Por ejemplo, la concentración de calcio en el suelo está vinculada a la descomposición de hojarasca, los procesos metabólicos de organismos detritívoros, la erosión de la roca madre, micro-flujos hídricos en los pequeños recovecos del suelo y todo un alud de factores. En la literatura ecológica, semejantes trazas reciben el nombre de variables ambientales y, por cierto, la disciplina ha desarrollado un amplio inventario de ellas, junto con un extenso repertorio de métodos de determinación. De hecho, cada variable ambiental está asociada a un conjunto particular de tales procedimientos. Por tanto, en los términos más simples, un gradiente ambiental es un orden lineal de valores que se obtienen mediante la aplicación de un método determinado.

Pero la situación puede ser más complicada, ya que existen gradientes complejos que expresan una combinación de indicadores de distinta naturaleza. La altitud sobre el nivel del mar, desde la base hasta la cima de una montaña, es un caso semejante. Conforme se eleva el cerro, cambia la temperatura del aire, la humedad relativa, las propiedades del suelo y múltiples asuntos. Incluso es un gradiente contexto-dependiente, pues la combinación de valores es distinta según si se trata de un monte tropical o de uno que despunta en latitudes templadas. Entre ecólogos hay desacuerdo acerca del tipo de gradiente a privilegiar: unos investigadores se inclinan hacia los complejos pues, según sostienen, son los que verdaderamente están en sintonía con la dinámica comunitaria; otros prefieren los «univariados», por así llamarlos, con la adenda expresa de que la variable en cuestión

debe tener efectos fisiológicos probados (ver las notas 11 y 12). La cuestión de fondo en semejante polémica es qué cosa constituye un gradiente ambiental significativo. Sin duda muchos factores varían de una localidad a otra: no es descabellado pensar que un compuesto X, que no interactúa con los sistemas de raíces de las plantas, presenta concentraciones diferenciales en los suelos de alguna floresta y, en consecuencia, cabe imaginar un gradiente de ese compuesto, o bien un gradiente complejo que combina concentraciones de X y frecuencias sonoras que emiten ciertas aves con sus cantos, pero seguramente ninguna de las dos gradaciones delate algo importante acerca de la distribución de especies vegetales en la zona.

El desempeño ecológico de una especie en un sitio se expresa mediante un índice numérico que revela la abundancia del taxón en ese lugar. Según la forma de vida (hierba, arbusto o árbol, si se trata de plantas), la ecología ha desarrollado diversas modalidades: cobertura (la suma de áreas de la elipse aproximada por la parte aérea de cada individuo de la especie X); diámetro a la altura de pecho (suma de diámetros de los troncos de cada individuo de la especie X: si X es árbol; por convención, se mide a 1,5 metros sobre el nivel del suelo); frecuencia, densidad y otros por el estilo.

Finalmente, en lo concerniente a las curvas o superficies de respuesta, éstas pueden adoptar múltiples fisonomías: campanas o domos simétricos o asimétricos, respuestas bimodales (con dos jorobas), trazos sigmoides en los extremos de la gradación-hábitat. No obstante, es sospechoso un coenoespacio con distribuciones erráticas, demasiado plurimodales, por así decir (al respecto, véase Bray 1961). La idea general es que, con relación al plano ambiental, cada especie tiene una región de desarrollo óptimo, y el desempeño decrece al incrementarse la distancia del vecindario en torno a dicha región. Quizá, por cuestiones fisiológicas y/o de interacción biótica, el efecto es menos acusado en una dirección de alejamiento que con relación a otra, lo cual da cuenta de la asimetría, pero es menester una investigación ulterior para revelar las causas particulares. Si acaso la distribución es bimodal, con crestas sobre regiones bien separadas del plano ambiental, quizá la especie en cuestión se compone de subpoblaciones genéticamente diferenciadas y en vías de divergencia evolutiva (Whittaker 1956), o quizá sea producto de interacciones competitivas, de modo que algún taxón competidor despunte en la región

donde la primera acusa una merma entre óptimos (Austin 1990). Todos estos asuntos deben aclararse con pesquisas puntuales subsecuentes, lo cual delata la utilidad del coenoespacio como instrumento de diagnóstico, mas no como marco explicativo.

Sin embargo, las representaciones «coenoespaciales» tienen una serie de virtudes notables. A simple vista queda de manifiesto la composición biótica de los sitios, por lo menos en lo que se refiere a las especies privilegiadas y, además, se puede atisbar la importancia relativa de ellas en cada unidad de muestreo. El coenoespacio ofrece una imagen sintética del paisaje bajo estudio y, dentro de ciertos márgenes, cabe pronosticar en qué dirección del plano ambiental se puede desplazar una localidad si es sometida a un determinado régimen de disturbio y si se tiene información previa acerca de los micro-ambientes que genera ese tipo de perturbación. Con esto, se puede pronosticar qué composición biótica le corresponderá a esa locación, tiempo después de haber ocurrido el evento destructivo. Ciertamente, semejantes vaticinios guardan un grado considerable de incertidumbre, dado el componente circunstancial de los sucesos ecológicos.

Por otra parte, el sistema exhibe propiedades insospechadas o nuevas. Por ejemplo, pone de relieve una tasa de recambio biótico, un indicador de cuán intensa es la sucesión de especies a lo largo del gradiente ambiental.

Esta propiedad se denomina diversidad beta y hay muchos índices para expresarla, no todos ellos equivalentes. Conviene mejor recurrir a un ejemplo gráfico para ilustrar la idea. En la figura 5 se muestran dos coenoclinas, cada una compuesta por un gradiente y diez curvas poblacionales. El hecho de que las tasas de recambio biótico son diferentes en uno y otro caso queda de manifiesto al comparar la composición de especies del punto A y del B, en el primer gradiente, y contrastar el resultado con la comparación análoga entre los puntos C y D del segundo trayecto. A y B no tienen ninguna especie en común, pero C y D comparten todas, a pesar de que la «distancia ecológica» (el tamaño del segmento entre los respectivos pares de puntos) es más o menos la misma entre los integrantes de cada par.[8]

8. Dicho sea de paso, las mayores diversidades beta corresponden a ambientes extremos, por lo general áridos. Parece ser que la planicie tibetana de Ngari goza de los mayores registros (véase Chang y Gauch 1986).

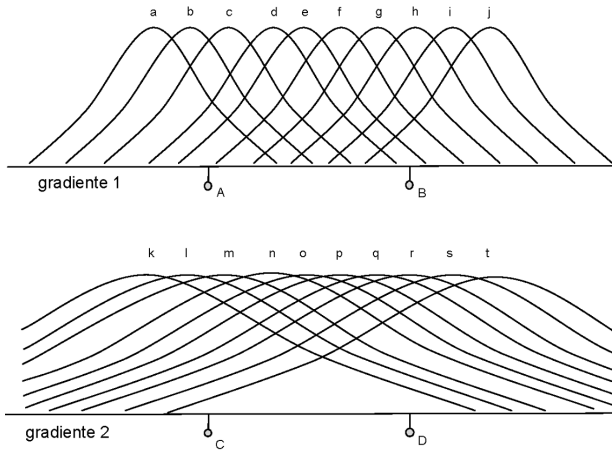


FIGURA 5. Dos coenoclinas con distinta diversidad beta

Coenoespacios, datos y simulaciones

En el mundo anglosajón, este modelo de integración comunitaria realmente cobra relevancia a partir de la década de los cincuenta del siglo XX (ver la nota 5), y surge a modo de contrapropuesta a una idea muy arraigada en la ecología vegetal de la primera mitad de la centuria, a saber: la vegetación no es un ensamble anárquico, sino que está constituida por unidades estables de especies asociadas. En Estados Unidos, Frederick Clements había sido el propagador destacado de tal enfoque, entre los años 1905 a 1945. Incluso, llegaba al extremo de atribuirle propiedades de supra-organismo a la tundra, taiga, pradera y demás grandes unidades de vegetación (véase Clements 1936; Clements y Shelford 1939).

Los iniciadores de la perspectiva «coenoespacial», Curtis y McIntosh (1951) y Whittaker (1956 y 1960), cuestionaron la existencia de grandes unidades de vegetación, claramente definidas y diferenciadas, y en su lugar sugirieron el recambio gradual de ensambles comunitarios a lo largo de gradientes ambientales.[9]

9. Ya desde los años veinte hubo voces disidentes a las concepciones supra-organísmicas, en la ecología norteamericana. Henry Gleason (1926) afirmaba que la vegetación de una zona se debe a una coincidencia de toleran-

Mientras que Clements agrupaba sus censos florísticos en clases y le adjudicaba un prototipo a cada una de estas categorías (relegando las desviaciones del tipo a una cuestión contingente), los partidarios del coenoespacio ordenaban sus censos en series, de tal suerte que las secuencias acusarán la mayor continuidad posible, en lo que respecta a la composición florística.

La diferencia de compromisos ontológicos estuvo acompañada de una nueva manera de procesar los datos que vale la pena reseñar, aunque sea en líneas generales. Ambos enfoques procuran la obtención de una tabla de sitios *versus* especies y *versus* variables ambientales. La celdilla correspondiente a la columna de la especie mengana y a la hilera del sitio fulano, se rellena con el valor del desempeño ecológico de ese taxón en esa localidad; y de manera análoga, en la celdilla de la columna bajo el rótulo de la variable perengana se apunta la medida obtenida. Por supuesto que la producción de semejante tabulador requiere, de por sí, manipulaciones sucesivas de las observaciones iniciales. Pero es a partir de la tabla de datos donde los enfoques clasificador y continuista claramente toman senderos distintos. El primero procede a incrustar la información en un soporte de menor complejidad estructural que la misma tabla; el segundo la proyecta a un formato con mayor estructura. La perspectiva clasificadora colapsa los sitios que guardan entre sí un determinado grado de similitud florística y ambiental en una suerte de comunidad prototípica, que sólo conserva la relación de especies dominantes, sub-dominantes y subordinadas de la comunidad ideal, así como los rangos ambientales en que persiste dicho ensamble idealizado. En cambio, la construcción de coenoespacios transforma la tabla de datos en una nube de puntos insertos en un espacio métrico n-dimensional, esto es, en un espacio surcado por *n* gradientes ambientales, al que, además, se le agrega un eje indicativo de desempeño ecológico y x número de superficies, tantas como especies hay contempladas en la tabla original.

No tiene caso entrar en demasiados detalles cómo se operó esta conversión en los trabajos pioneros de la propuesta continuista. Los autores aplicaron algoritmos, más o menos artesa-

---

cias y dispersiones de semillas, no a una coalescencia mutualista de especies. Eliot (2007) discute, desde una perspectiva filosófica, las diferencias y similitudes de Clements y Gleason.

nales, que consistían en establecer órdenes preliminares de sitios y en atención a ellos trazar las tendencias que acusaban los desempeños ecológicos de cada taxón; luego, otorgaron pesos a las especies, en función del tramo en la secuencia de localidades en que dichos taxones acusaban sus valores óptimos. Con base en estos pesos, calibraron el ordenamiento de sitios, plasmaron las distribuciones poblacionales en relación a este nuevo orden y, finalmente, «suavizaron» los trazos. Lo importante a destacar es que el traspaso de la matriz de datos al coenoespacio construido no introduce conceptos ecológicos nuevos, es decir, que no se puedan derivar de la información en la tabla.

Ensayos con otras vegetaciones del mundo,[10] durante los cincuenta y sesenta, redundaron en arreglos espaciales similares, lo cual brindó evidencias para suponer la generalidad de esta estructura. Por otra parte, la promesa del ordenamiento para revelar patrones ecológicos significativos dio alicientes a experimentar con algoritmos matemáticamente sofisticados, por lo regular sustentados en el álgebra de matrices (componentes principales, análisis de correspondencia, escalamiento multidimensional, etc.). En buena medida, estas técnicas multivariadas se importaron de otras disciplinas, pero igualmente hubo aportaciones originales de los ecólogos. Si uno revisa la literatura producida durante los años sesenta, encontrará un alud de alternativas multivariadas para el estudio de comunidades (de hecho, tal proliferación siguió su curso en las tres décadas subsecuentes). El problema, entonces, fue cómo evaluar el desempeño de los algoritmos; para ello se generaron programas simuladores de coenoespacios (Gauch y Whittaker 1972, 1976). El ejercicio consistía en lo siguiente: se crea un ecotopo virtual de n dimensiones y de ahí se extrae una matriz de datos, ésta se somete a los algoritmos mencionados, los cuales arrojan configuraciones n-dimensionales de «localidades», luego se observa si las constelaciones se corresponden con el patrón de sitios en el plano ambiental simulado. Lo interesante del asunto es que con estos paquetes simuladores se produjeron múltiples modelos de coenospacio, que varían en lo tocante a la dimensionalidad, los tipos de distribucio-

10. Curtis y McIntosh (1951) realizaron sus investigaciones en los bosques meridionales de Wisconsin; Whittaker (1956) en las montañas Gran Smoky de Tennessee. En años posteriores, metodologías similares se aplicaron en una amplia gama de terrenos templados, áridos, tropicales, etcétera.

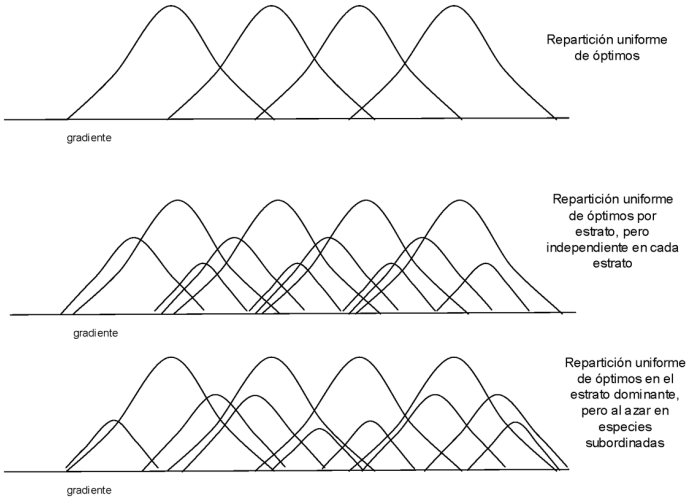


FIGURA 6. Modelos de coenoclinas

nes poblacionales (campanas simétricas, asimétricas, con una o varias modas, etc.) y los patrones en que dichas poblaciones se reparten el plano ambiental. La figura 6 muestra tres ejemplos simples, que ni por asomo agotan las posibilidades.

Pudiera parecer que los investigadores jugaban a lo ciego, pero no es así: los modelos engendrados se justificaban con base en criterios ecológicos bien fundamentados. Más aún, en lo que respecta a la distribución general de poblaciones y las curvas o superficies de respuesta, unos modelos guardan mayor aire de familia entre sí, lo cual sugiere la existencia de clases de coenoespacios o especializaciones de dicho concepto.[11] En la figura 6, se antoja pensar que el superior es una suerte de esquema general acerca de la repartición equitativa del gradiente (funda-

11. De hecho, la literatura ecológica ofrece al menos dos propuestas claramente distintas: por una parte, los coenoespacios de Gauch y Whittaker (1972, 1976), y por la otra, los modelos de Austin y Smith (1989). Difieren en cuanto al tipo de gradientes que los surcan; el tipo de curvas o superficies que acusan las poblacionales, en relación a dichos gradientes; la diferenciación de zonas de crecimiento óptimo para cada especie; el comportamiento de la diversidad alfa (número de especies por unidad de área) respecto a las direcciones de variación ambiental, y otras cuestiones más (ver la nota siguiente).

mentada en la idea de diferenciación de nichos) y los dos inferiores son especializaciones suyas.

Conclusión

Los libros de texto de biología ofrecen una amplia gama de imágenes que, a modo de ejercicio preliminar, podrían apiñarse en los siguientes grupos:

1) retratos del objeto de estudio, sean fotografías o dibujos;
2) arreglos de datos mediante tablas, diagramas de pastel, histogramas, puntos y curvas en sistemas de coordenadas, etcétera;
3) trazas de instrumentos de laboratorio (como potenciales de acción en pantallas de osciloscopios) y otros fenómenos estabilizados por la práctica experimental y obsevacional;
4) ilustraciones cuyo cometido es poner de realce el comportamiento de un determinado sistema empírico, según los lineamientos de una cierta teoría.

Hay buenas razones para suponer que los diagramas de Punnet, como el que se muestra en la figura 1, están incluidos en el cuarto inciso. Pero ¿dónde se podría colocar el coenoespacio en esta cruda tipología? Cabría en el segundo apartado, pues finalmente es un arreglo de datos, aunque de datos ya muy trabajados, «suavizados», etc. Sin embargo, la imagen ofrece más que un simple ordenamiento de registros: concentra una gran cantidad de información, delata efectos emergentes como la diversidad beta y, guardando toda proporción, permite inferir cambios en la organización comunitaria si acaso ocurren sucesos que alteran las presiones ambientales operantes en la zona de estudio.

Se antoja pensar que el tercer rubro también puede dar cobijo al coenoespacio. De hecho, la inclusión de este inciso en la tipología de arriba está inspirada en lo dicho por Hacking acerca de los llamados «efectos» en la física y cómo la práctica experimental crea y estabiliza regularidades (Hacking 1996, pp. 249-258). Pero en lo concerniente al coenoespacio, habrá que preguntarse cuál es el fenómeno generado y estabilizado por la práctica de los ecólogos, si los gradientes, las formas de las cur-

vas de respuestas y cómo éstas se reparten el espacio de posibilidades ambientales, son cuestiones que están sujetas a contingencias locales. La forma del coenoespacio subyacente a la floresta A puede ser muy distinta a la del que subyace en la vegetación B, aún si los gradientes son del mismo tipo en uno y otro caso. Bien se podría señalar que, a pesar de las diferencias, semejante arreglo de la información pone de relieve dos cosas: tasas de recambio biótico en sintonía con tendencias ambientales y repartición de nichos ecológicos, aunque no se pueda afirmar algo más fuerte acerca de tal reparto. De cualquier manera, semejantes anuncios son sumamente generales, y es dudoso que se correspondan con lo que Hacking tenía en mente.[12]

¿Qué clase de objeto científico es el coenoespacio? Difícilmente se trata de una teoría, si por teoría se entiende un marco conceptual que postula una ley fundamental e introduce térmi-

12. Ahora bien, la literatura ecológica sí ofrece polémicas en torno a qué tipos de coenoespacios son relevantes, y los autores que defienden uno u otro tipo destacan que sus preferencias revelan fenómenos significativos. Por ejemplo, Gauch y Whittaker (1972, 1976) sostienen que los coenoespacios realmente útiles son aquellos surcados por gradientes ambientales complejos, y que en tales casos las curvas de respuesta tienden a ser acampanadas, simétricas y, por lo menos en lo tocante a las especies dominantes, se reparten el espacio ambiental de tal suerte que cada una acusa un óptimo en una región particular, y en esa región las demás especies pueden estar presentes pero no acusan un desarrollo óptimo. La propuesta de estos autores sostiene la diferenciación de nichos. Austin y Smith (1989), por su parte, contraponen que los gradientes complejos sólo tienen efectos locales y no se puede hacer generalización significativa alguna con base en tales gradaciones. Señalan además que aún en el contexto de gradientes complejos, las curvas de respuesta pueden tomar múltiples formas y no es prudente afirmar tendencias universales. Los coenoespacios que ellos proponen se fincan en dos tipos de gradientes (univariados): aquellos que representan concentraciones de nutrientes minerales en el suelo, y aquellos tocantes a factores que no son nutrientes pero sí tienen un efecto fisiológico directo sobre el crecimiento de las plantas, como la acidez del suelo o la temperatura del aire. En el primer caso, señalan Austin y Smith, las curvas poblacionales están anidadas, pues los vegetales tienen requerimientos nutricionales restringidos y similares; en el segundo caso suele no haber tal anidamiento. La propuesta de estos autores finca la regularidad en parámetros distintos a la forma de la curva de respuesta y la repartición de nichos; la establece con relación al comportamiento de la diversidad alfa (riqueza de especies por unidad de área), el porcentaje de dominancia y la biomasa total respecto al gradiente. Por tanto, ambos pares de escritores efectivamente señalan fenómenos establecidos, pero son de naturaleza distinta en un caso y en otro.

nos cuya determinación depende de la aplicación de esa ley. Quizá se podría argumentar que la noción de gradiente ambiental es un término «coenoespacio-teórico»; sin embargo, esto no es sostenible. Finalmente, semejante gradación corresponde a la escala de valores que puede adoptar una variable ambiental o una combinación de ellas. La determinación de, supóngase, temperatura media anual, acidez del suelo, tasa de descomposición de hojarasca y cosas por el estilo no presupone absolutamente nada acerca de la organización comunitaria. Igual ocurre con el desempeño ecológico: sólo indica la abundancia de una especie en una localidad. En cambio, despejar la diversidad beta sí presupone al continuo vegetacional y se antoja pensar que dicho indicador es, en efecto, un término «coenoespacio-teórico», pero en realidad se trata de una noción derivada. La diversidad beta no es una pieza clave en la arquitectura del coenoespacio, como sí lo es —por ejemplo— la relación entre individuos y genotipos en la estructura conceptual de la genética clásica.

Por otra parte, si acaso es legítimo hablar de una ley fundamental, ésta versaría más o menos así: «las poblaciones que constituyen una comunidad biótica se distribuyen con relación a gradientes ambientales y tales distribuciones presentan cierto solapamiento entre sí». Dada su generalidad y poco contenido empírico, la afirmación tiene cualidades legales, y es posible que el coenoespacio represente una teoría sin términos T-teóricos, cosa que la Concepción Estructural admite, pero no suele ser el caso en las reconstrucciones estructuralistas. El asunto puede quedar abierto; de cualquier manera no es descabellado señalar que el grado de teoricidad de un esquema que no introduce términos T-teóricos es menor al de uno que sí lo hace.

Pero da la impresión que el coenoespacio es más una descripción de la integración comunitaria y no tanto un marco del cual se puedan derivar explicaciones relativas a las interacciones entre organismos, y entre éstos y el medio físico. No explica por qué las comunidades se organizan en torno a gradientes, ni por qué las distribuciones de especies son de un modo u otro. Para ello es menester recurrir a teorías de diversa índole: sin duda a la selección natural darwiniana, más algún modelo de especiación; también habrá que auxiliarse de teorías tocantes a la fisiología de plantas. Si bien el continuo vegetacional no ofrece explicaciones, sí puede servir para formular problemas interesantes. Así

veían el asunto quienes originalmente desarrollaron el esquema: sugerían realizar estudios sobre morfología y dinámicas poblacionales de especies selectas en distintos puntos de un gradiente ambiental; o bien investigar diversas interacciones bióticas (competencia, herbivoría, mutualismo) en distintos estadios de dicha gradación (véase Curtis y McIntosh 1951 y Curtis 1959).

Con seguridad, cabe señalar que los coenoespacios de las monografías ecológicas son sistemas complejos de datos ya muy pulidos. La presentación gráfica es fundamental para la comunicación, incluso si el sistema a tratar es multidimensional, pues la narrativa que lo describe hace uso de términos cuyo entendimiento cabal requiere de estímulos visuales. Ahora bien, el hecho de que el coenoespacio dé pie a conceptos emergentes, como la diversidad beta, y que, además, acuse comportamientos análogos a los de teorías empíricas, en cuanto a que los modelos «coenoespaciales» describen algo parecido a redes de especialización, sugiere, para este particular desarrollo científico, una relación entre la teoricidad y el procesamiento de datos. Las sucesivas incrustaciones de los registros en formatos de mayor riqueza estructural, desde los apuntes iniciales hasta las intricadas configuraciones de datos idealizados, parece generar objetos que transitan hacia el dominio de lo teórico.

Referencias bibliográficas

AUSTIN, M.P. (1990), «Community Theory and Competition in Vegetation», en J. B. Grace y D. Tilman (eds.), *Perspectives on Plant Competition*, San Diego: Academic Press, pp. 215-238.

— y T.M. SMITH (1989), «A New Model for the Continuum Concept», *Vegetatio*, 83, pp. 35-47.

BALZER, W. y C.M. DAWE (1986), «Structure and Comparison of Genetic Theories: (1) Classical Genetics», en *British Journal for the Philosophy of Science*, vol. 37, pp. 55-69.

—, C.U. MOULINES y J. SNEED (1987), *An Architectonic for Science. The Structuralist Program,* D. Reidel, Dordrecht.

BEGON, M., J.L. HARPER y C.R. TOWNSEND (1988), *Ecología: individuos, poblaciones y comunidades,* Omega, Barcelona.

BRAY, J.R. (1961), «A Test for Estimating the Relative In formativeness of Vegetation Gradients», *Journal of Ecology*, vol. 49, pp. 631-642.

CASANUEVA, M. (2003), *Mendeliana y anexos,* Universidad Autónoma Metropolitana, Iztapalapa-Miguel Ángel Porrúa, México.

CHANG, D.H.S. y H.G. GAUCH (1986), «Multivariate Analysis of Plant Communities and Environmental Factors in Ngari, Tibet», en *Ecology*, vol. 67, pp. 1.568-1.575.
CLEMENTS, F.E. (1936), «Nature and Structure of the Climax», en *Journal of Ecology*, vol. 24, pp. 252-284.
— y V.E. SHELFORD (1939), *Bio-ecology,* Wiley & Sons, Nueva York.
COOPER, G.J. (2003), *The Science of the Struggle for Existence. On the Foundations of Ecology,* Cambridge University Press, Cambridge.
CURTIS, J.T. (1959), *The Vegetation of Wisconsin. An Ordination of Plant Communities,* University of Wisconsin Press, Madison.
— y R.P. MACINTOSH (1951), «An Upland Forest Continuum in the Prairie-Forest Border Region of Wisconsin», *Ecology*, vol. 32, pp. 476-496.
DÍEZ, J.A. y P. LORENZANO (2002), «La concepción estructuralista en el contexto de la filosofía de la ciencia del siglo XX», en J.A. Díez y P. Lorenzano (eds.), *Desarrollos actuales de la metateoría estructuralista: problemas y discusiones,* Universitat Rovira i Virgili-Universidad Nacional de Quilmas, Buenos Aires, pp. 13-78.
— y C.U. MOULINES (1997), *Fundamentos de la filosofía de la ciencia*, Ariel, Barcelona.
DODSON, S.I., T.F.H. ALLEN, S.R. CARPENTER, A.R. IVES, R.L. JEANNE, J.F. KITCHELL, N.E. LANGSTON y M.G. TURNER (1998), *Ecology*, Oxford University Press, Nueva York, Oxford.
ELIOT, C. (2007), «Method and Metaphysics in Clement's and Gleason's Ecological Explanations», en *Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences,* vol. 38, pp. 85-109.
FORMAN, R.T. y M. GODRON (1986), *Landscape Ecology*, John Wiley & Sons, Nueva York.
GAUCH, H.G. y R.H. WHITTAKER (1972), «Coenocline Simulation», en *Ecology*, vol. 53, pp. 446-451.
— y R.H. WHITTAKER (1976), «Simulation of Community Patterns», en *Vegetatio*, vol. 33, pp. 13-16.
—, R.H. WHITTAKER y S.B. SINGER (1981), «A Comparative Study of Nonmetric Ordinations», en *Journal of Ecology*, vol. 69, pp. 135-152.
GIERE, R.N. (1999), *Science without Laws*, University of Chicago Press, Chicago.
GLEASON, H.A. (1926), «The Individualistic Concept of the Plant Association», en *Torrey Botanical Club Bulletin*, vol. 38, pp. 21-33.
HACKING, I. (1996), *Representar e intervenir*, Paidós-UNAM, México.
HUSTON, M.A. (1994), *Biological Diversity: The Coexistence of Species on Changing Landscapes*, Cambridge University Press, Cambridge.
LORENZANO, P. (2000), «Classical Genetics and the Theory-Net of Genetics» en *Poznan Studies in the Philosophy of the Sciences and the Humanities*, vol. 75 (Wolfgang Blazer, D. Joseph Sneed y C. Ulises Moulines (eds.), *Structuralist Knowledge Representation: Paradigmatic Examples*), pp. 251-283.

MARGALEF, R. (1989), *Ecología*. Omega, Barcelona.
MCNAUGHTON, S.J. y L.L. WOLF (1979), *General Ecology*, Holt, Rinehart & Winston, Nueva York.
MAYCOCK, P.F. (1967), «Jozef Paczoski: Founder of the Science of Phytosociology», en *Ecology*, vol. 48, pp. 1.031-1.034.
PIANKA, E.R. (1983), *Evolutionary Ecology* Harper & Row, Nueva York.
PIELOU, E.C. (1984), *The Interpretation of Ecological Data,* Wiley & Sons, Nueva York.
PUTMAN, R.J. (1994), *Community Ecology.* Chapman & Hall, Londres.
SINNOTT, E.W., L.C. DUNN y T. DOBZHANSKY (1972), *Principios de genética*, Barcelona, Omega.
SUPPE, F. (1977), «The Search for Philosophic Understanding of Scientific Theories», en F. Suppe (ed.), *The Structure of Scientific Theories,* University of Illinois Press, Urbana, pp. 1-244.
WHITTAKER, R.H. (1956), «Vegetation of the Great Smoky Mountains», en *Ecological Monographs*, vol. 26, pp. 1-80.
— (1960), «Vegetation of the Siskiyou Mountains, Oregon and California», en *Ecological Monographs*, vol. 30, pp. 279-338.
— (1967), «Gradient Analysis of Vegetation», en *Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society*, vol. 42, pp. 207-264.

TRANSMISIÓN VISUAL DEL CONOCIMIENTO

Mario Casanueva
UAM-Cuajimalpa, México

El uso de imágenes para representar saberes nos ha acompañado desde el Paleolítico y está presente en prácticamente cualquier cultura del planeta. A lo largo de nuestra historia, ojo, mano y cerebro, han creado imágenes para trasmitir información sobre lo representado, que satisfacen parcialmente tal objetivo. Independientemente de la intención que le haya dado origen, la imagen de ocho ciervos ojeados y dirigidos en carrera hacia tres humanos que los reciben a flechazos transmite información sobre la vida paleolítica (ver figura 1).

FIGURA 1. Escena de la Cueva de los Caballos en Castellón, España

En lo que sigue, voy a hablar de cuatro proyectos en los que la imagen además de trasmitir información cumple una función educativa. El primero, de naturaleza programática, no llegó a construirse. El segundo, aunque exitoso en su momento, cayó en des-

uso. El tercero tuvo sólo éxitos parciales, y el cuarto es un modelo programático que retoma, modernizándolas, las metas centrales del primero. Los dos primeros son del siglo XVII; el tercero no tiene más de cien años; el último aún se halla en construcción.

La *characteristica universalis* de Leibniz

Todas las épocas, como las personas, conocen sus propios retos y anhelos, algunos, *mutatis mutandis*, trascienden a sus sujetos. El clérigo británico John Wilkins, *Warden* del Wadham College (Oxford), *Master* del Trinity College (Cambridge) y primer secretario de la *Royal Society,* publicó en 1668 *An Essay towards a Real Character and a Philosophical Language* (*Ensayo hacia un carácter real y un lenguaje filosófico*), obra que pretendía responder al anhelo del siglo XVII de contar con una lengua universal. En la propuesta de Wilkins, para decirlo en términos de Borges:

> [...] cada palabra se define a sí misma. Descartes, en una epístola fechada en noviembre de 1629, ya había anotado que mediante el sistema decimal de numeración, podemos aprender en un solo día a nombrar todas las cantidades hasta el infinito y a escribirlas en un idioma nuevo que es el de los guarismos;* también había propuesto la formación de un idioma análogo, general, que organizara y abarcara todos los pensamientos humanos. John Wilkins, hacia 1664, acometió esa empresa.
>
> Dividió el universo en cuarenta categorías o géneros, subdivisibles luego en diferencias, subdivisibles a su vez en especies. Asignó a cada género un monosílabo de dos letras; a cada diferencia, una consonante; a cada especie, una vocal. Por ejemplo: de, quiere decir elemento; deb, el primero de los elementos, el fuego; deba, una porción del elemento del fuego, una llama.
>
> [...] Las palabras del idioma analítico de John Wilkins no son torpes símbolos arbitrarios; cada una de las letras que las integran es significativa, como lo fueron las de la Sagrada Escritura para los cabalistas [Borges 1952].

---

* Teóricamente, el número de sistemas de numeración es ilimitado. El más complejo (para uso de las divinidades y de los ángeles) registraría un número infinito de símbolos, uno para cada número entero; el más simple sólo requiere dos. Cero se escribe 0, uno 1, dos 10, tres 11, cuatro 100, cinco 101, seis 110, siete 111, ocho 1000... Es invención de Leibniz, a quien estimularon (parece) los hexagramas enigmáticos del I King.

Como señala Borges, hacia el final de su tratado sobre el lenguaje analítico de Wilkins, el problema principal de este tipo de intentos radica en la justificación de los géneros iniciales y del sistema taxonómico que les sigue.

Otro intento, acaso más interesante es el bosquejado por Gottfried Wilhelm Leibniz. Retomando, entre otras, las ideas de Lull, de Kircher, de Descartes, de Hobbes y del propio Wilkins, Leibniz se fijo una meta aún más alta:

> Y aunque los hombres doctos poseen profundos pensamientos sobre una cierta clase de lengua o característica universal mediante la cual todos los conceptos y cosas puedan ser puestos en un hermoso orden y con la ayuda de la cual las diversas naciones puedan comunicar sus pensamientos, cada una de ellas leyendo en su propia lengua lo que otras han escrito en la suya, con todo nadie ha procurado una lengua o una característica que incluya al mismo tiempo las artes del descubrimiento y del juicio, es decir, una cuyos signos y caracteres sirvan al mismo propósito que los signos aritméticos sirven para los números, y los signos algebraicos para las cantidades consideradas abstractamente [Leibniz 1969, p. 222].

Leibniz deseaba un alfabeto para el pensamiento (*alphabetum cogitationum humanorum*) que sería a la vez una taquigrafía y una herramienta formal para la creación de conocimiento. Interpretaciones antiguas (cfr. Couturat 1901) tanto como recientes sugieren que conceptuó su *characteristica universalis* como una lengua ideográfica o pasigráfica, donde más que fonemas o palabras se escribiesen conceptos.

> Hemos hablado del arte de la complicación de las ciencias, es decir, de la lógica inventiva... Pero cuando las listas de categorías de nuestro arte de la complicación se han formado, algo más grande emerge. Los primeros términos, de cuyas combinaciones consistirían todos los otros, serían designados por signos, estos signos podrían ser una clase de alfabeto. Será conveniente que los signos sean tan naturales como sea posible —e. g., para el uno, un punto; para los números, puntos; para las relaciones de una entidad con otra, líneas; para la variación de ángulos y de extremidades en líneas, clases de relaciones. Si éstos están correcta e ingeniosamente establecidos, esta escritura universal será tan fácil como es común, y podrá ser leída sin ningún diccionario; al mismo tiempo, se obtendrá un conocimiento fundamental de todas

> las cosas. La totalidad de tal escritura estaría hecha de figuras geométricas, como si fuese una clase de dibujos —tal como lo hicieron los antiguos egipcios, y los chinos lo hacen hoy. Sus dibujos, sin embargo, no se reducen a un alfabeto fijo [...] con el resultado de que se requiere un enorme esfuerzo de la memoria, lo contrario de lo que proponemos [Leibniz 1966].

El proyecto de Leibniz no era tanto una cuestión de lógica, sino más bien de representación del conocimiento (Jaenecke 1996). No es descabellado afirmar que Leibniz perseguía un sistema de representación tal que nuestras representaciones exosomáticas (materiales), en términos de cuadros esquemas, diagramas, estuviesen en consonancia (idealmente isomórfica) con nuestras representaciones endosomáticas, en términos de unos pocos conceptos atómicos más un cierto arte de combinación e invención que permitiría la construcción de conceptos más complejos y podría representar eventualmente todos los pensamientos humanos. El *ars characteristica* era el arte de ir formando y ordenando los caracteres (que incluían: signos, marcas, dibujos, símbolos, notaciones, números, etc.) «de modo que mantengan entre sí la relación que mantienen los pensamientos» (Bodemann 1985 en De Olaso 2003, p. 181) así se obtendría una escritura ideográfica que representaría directamente los pensamientos.

Leibniz concibió también una metodología, el camino a la *characteristica* recorría los siguientes pasos.

1) Extracción, fragmentación, depuración o refinamiento de lenguas o *characteristicas* particulares, tales como la química, la notación musical, la matemática y la geometría, las lenguas naturales, etc. a fin de obtener los conceptos básicos.

2) Asignación de un carácter o signo adecuado a tales conceptos.

3) Aplicación del *ars combinatoria* como herramienta de construcción de conceptos derivados.

4) Aplicación del *ars combinatoria* y del *ars inveniendi* como herramientas de prueba y descubrimiento.

Pensando en los usos de su instrumento, Leibniz se maravillaba de las potencialidades que nos ofrecería para transmitir (íntegramente) el pensamiento. Comparando esta lengua uni-

versal de los conceptos con los entonces recientes instrumentos ópticos (telescopio y microscopio), señaló:

> Ni el telescopio ni el microscopio aportaron tanto al ojo como lo que habría aportado al pensamiento este instrumento. Dado el descubrimiento de instrumentos para la vista y la audición, intentemos construir para el espíritu un nuevo telescopio que no sólo nos acercará a las estrellas sino a las inteligencias mismas y que no sólo hará visibles las superficies de los cuerpos sino también las formas interiores de las cosas.
>
> Su verdadera utilidad residiría en esto: que reproduciría no solamente las palabras sino también los pensamientos y que hablaría más al entendimiento que a los ojos [Leibniz 1680].

El *Orbis Sensualium Pictus* de Comenius

Una humanidad educada, imbuida de amor fraterno, sabia, sin injusticias, abusos no violencia, fue siempre el ideal de Johann Amos Comenius (1592-1670). Sus obras abonan en ese sentido, baste considerar algunos de sus títulos: *El laberinto del mundo y el paraíso del corazón*; *Tratado universal para la reforma de la humanidad*; *La clase juego*; *La felicidad de la nación*; *Mandamientos para evitar el mal*.

En 1658, Comenius publicó en Núremberg el primer libro de texto ilustrado, mismo que por su naturaleza fue publicado en edición bilingüe. Su finalidad era la enseñanza de un idioma. Goethe, que aprendió latín en dicho libro, daba por bien empleada la media centena de años que Comenius le dedicó. *Orbis Sensualium Pictus* (*Representaciones sensoriales del mundo*) constituía una suerte de mini-enciclopedia visual del saber popular, como lo anuncia el subtítulo: *Hoc est Omnium Fundamentalium in Mundo Rerum, et in Vita Actionum, Pictura et Nomenclatura* (*Esto es imágenes y nomenclatura de todo lo fundamental del mundo de las cosas y de la vida activa*).

El libro se expandió rápidamente, en 1659 se publica la primera edición inglesa, también bilingüe y con cambios en algunas ilustraciones. La primera edición tetralingüe: latín-alemán-italiano-francés aparece siete años después.

Orbis Sensualium Pictus contiene ciento cincuenta láminas ilustradas, cada una relacionada con su propio texto —*per se* en

edición bilingüe. La lista temática es vasta y diversa (los cuatro elementos, conocimiento astronómico, taxonomías naturales, las partes del cuerpo humano, numerosas artes y oficios, técnicas de estudio, teología, virtudes morales, religiones del mundo, etc.). Las láminas incluyen varios elementos, algunos de los cuales están asociados a números que remiten al texto. Esta estructura permite la recreación de las prácticas cognitivas propias de los distintos términos, de esta manera, al igual que en la lengua materna, cada término se introduce en su correspondiente contexto de uso (ver figura 2). Obviamente, tal estructura, que vincula dos componentes lingüísticos mediante su relación con un tercero de tipo visual y «universal», es útil para la enseñanza de más de un idioma, incluso de manera simultánea.

FIGURA 2. Lámina de *Orbis Sensualim Pictus*, edición de 1658 (colores añadidos)

El proyecto de educación visual de Neurath

Entre la segunda y cuarta década del siglo pasado, en Viena, en La Haya y finalmente en Londres, Otto Neurath y sus colaboradores trabajaron en la creación de un lenguaje icónico. El originalmente denominado «Método vienés para la educación visual», y posteriormente «Sistema internacional para la educación tipográfica visual», más conocido por sus siglas en inglés (ISOTYPE), consistía en un código icónico destinado a comunicar información sobre objetos, procesos y relaciones mediante una narrativa visual.

Una de las ideas centrales del proyecto era que la combinación de íconos aislados podría, paulatinamente, representar contenidos mucho más complejos. Aunque, el ISOTYPE no avanzó más allá de la combinación de unos cuantos íconos y se centró sobre todo en la representación de información numérica (ver figura 3), el proyecto original de Neurath perseguía metas mucho más ambiciosas. En la introducción de su *Internacional Picture Language*, habla de «turning the statements of science into pictures»[1] (Neurath 1936, p. 8) con la intención de crear no sólo textos educativos en alguna rama del conocimiento, sino más bien una enciclopedia.[2]

---

1. «...verter a imágenes las declaraciones científicas».

2. «At this time the idea of an international encyclopaedia is coming once more to the front [...] The encyclopaedia will make use of one language for all sciences, it puts out all feeling —all words for right and wrong— from the account of science, it will have as little as possible to do with any words or any signs which are not clear, it will make use of one picture language. The purpose of this new encyclopaedia, which is only an addition to other encyclopaedias, is to give all men a common startingpoint of knowledge, to make one united science, forming a connection between the special sciences and putting together the work of different nations, to give simple and clear accounts of everything as a solid base for our thoughts and our acts, and to make us fully conscious of conditions in which we are living. This encyclopaedia will be all the time in the process of growth, like society, science, and language themselves. What the science of reasoning has done to make possible such a uniting of the sciences and to give one word language to all the special sciences, the Isotype system has done to make possible one language of pictures which will give the same sort of help to the eye for all the special sciences and for persons of all nations» (Neurath 1936, p. 110). [«En esta época nuevamente adquiere preeminencia la idea de una enciclopedia internacional. [...] La enciclopedia usará una lengua para todas las ciencias, dejando de lado todos los sentimientos —todas las palabras para correcto e incorrecto— de la narrativa de la ciencia, hará el menor uso posible de cual-

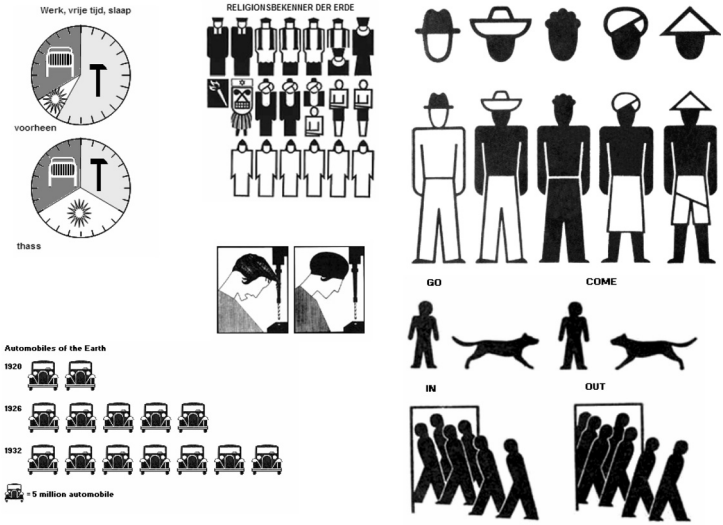


FIGURA 3. Algunos ejemplos de «isotipos».
De izquierda a derecha y de arriba abajo: distribución relativa de las horas de trabajo, recreación y sueño, representación de información numérica estadística sobre la composición religiosa de una cierta región europea (cada ícono representa quinientas mil personas), diferentes tipos de vestimenta de la clase obrera, información estadística sobre la producción de automóviles (cada ícono representa 5 millones de autos) señales de seguridad en las fábricas, e introducción de un vocabulario inglés básico. Los íconos fueron desarrollados por Gerd Arntz (colaborador de Neurath). Imágenes tomadas de la página web: http://imaginarymuseum.org/MHV/PZImhv/NeurathPictureLanguag.html

---

quier palabra o cualquier signo que no sean claros, usará un lenguaje pictórico. El propósito de esta nueva enciclopedia, que solamente es una adición a otras enciclopedias, es proporcionar a todos los hombres un punto de partida común del conocimiento, para construir una ciencia unificada, conectando entre si las ciencias especiales y reuniendo el trabajo de diversas naciones, para suministrar relatos claros y simples de todas las cosas, como una base sólida para nuestros pensamientos y actos, y para hacernos plenamente conscientes de las condiciones en las que vivimos. Esta enciclopedia estará en crecimiento permanente, al igual que la sociedad, la ciencia, y el lenguaje mismos. Lo que la ciencia del razonamiento ha hecho para posibilitar la unión de las ciencias y para otorgar un lenguaje verbal a todas las ciencias especiales, el sistema isotype lo hará para posibilitar un lenguaje de imágenes que brindará al ojo la misma clase de ayuda para todas las ciencias especiales y para las personas de todas las naciones».]

El ISOTYPE no tuvo los resultados globales que Neurath deseaba, sin embargo, sus ideas fueron el antecedente directo de la señalización internacional de aeropuertos, hoteles y centros de recreo. El ISOTYPE también es antecedente, entre otros, de los íconos usados para representar los deportes olímpicos y de la señalización de las líneas de metro de la Ciudad de México. En general, buena parte de la simbología empleada hoy en la representación de la información estadística deriva directamente de los trabajos de Neurath y sus colaboradores. De igual manera, el proyecto popularizó las llamadas «gráficas de pastel» (*pie chart*), aunque la creación de éstas se remonta a 1801.[3]

Los enfoques semánticos en filosofía de la ciencia

Hacia finales de los años setenta y principios de los ochenta del siglo XX, aunque con antecedentes más remotos, se extiende y consolida una nueva visión sobre las teorías empíricas, que se opone frontalmente a la caracterización de las teorías como conjuntos de enunciados. Esta visión, más que una concepción única, consiste en una serie de ellas, reunidas bajo la idea de que presentar una teoría no es presentar un conjunto de axiomas sino una determinada familia o conjunto de modelos. Dentro de esta visión habitualmente el término «modelo» se utiliza en su sentido lógico-matemático (que debemos a Tarski). Dar un modelo para una teoría es dar una interpretación de sus términos (*i.e.,* dotarlos de un significado concreto) tal que sus axiomas resulten verdaderos en esa interpretación. Ya que esta noción de modelo es fundamentalmente semántica, el enfoque se ha denominado corriente semanticista, en oposición a la concepción clásica que, al considerar a las teorías como conjuntos de enunciados, enfatiza sus aspectos sintácticos.

Bajo un enfoque semántico, los modelos teóricos se conciben como estructuras conceptuales que pueden ser (re)presentadas de maneras muy diversas: como estructuras topológicas de un espacio de estados; mediante estructuras defini-

3. En 1801 William Playfair, construyó la primera «gráfica de pastel». A este respecto son relevantes los trabajos de Charles J. Minard (1781-1870), quien diseñó un sistema de gráficas estadísticas para ilustrar las campañas de Napoleón en Rusia (cfr. Desrosiéres 1993; Tufte 1983).

das por una oración formulada en el lenguaje de la teoría de conjuntos; como grafos conceptuales, a la manera de la teoría de categorías; e incluso sin otorgarles ninguna forma matemática determinada. En palabras de van Fraassen (1989, p. 188):

> De acuerdo con la concepción semántica, presentar una teoría es presentar una familia de modelos. Esta familia puede ser descrita de varios modos, mediante enunciados diferentes, en lenguajes diferentes, y ninguna formulación lingüística tiene ningún estatuto privilegiado. Específicamente no se atribuye ninguna importancia a la axiomatización como tal, e incluso la teoría puede no ser axiomatizable en ningún sentido no trivial.

Llegados a este punto, es ilustrativo hacer una breve mención de la concepción semántica de van Fraassen y a la concepción estructuralista de teorías.

La concepción semántica de van Fraassen

Dentro de las posibles formas de representación, van Fraassen opta por representar los modelos de una teoría como áreas o trayectorias en un espacio fase o espacio de estados. El aspecto central de esta idea es el siguiente:

i) el estado de un sistema se puede caracterizar por completo estipulando los valores de determinadas variables que presenta el sistema en cierto momento;[4]

ii) el espacio de estados representa el espacio de posibilidades lógicas del sistema; y

iii) las leyes determinan o bien áreas o bien trayectorias dentro de tal espacio, ambas representan el espacio teóricamente posible. Así los modelos de una teoría son vistos como estructuras topológicas de un determinado espacio-fase. Está claro que la forma específica de estas estructuras depende de las leyes postuladas por la teoría.

---

4. Puede darse el caso que para la formulación de las leyes se requieran parámetros adicionales a los necesarios para caracterizar el estado de un sistema, dichos parámetros también son contemplados por la teoría y se añaden a los ya señalados.

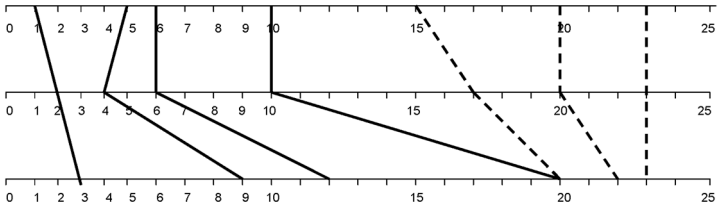


FIGURA 4. Ilustración de la estructura topológica de la suma en un espacio numérico. Las líneas continuas indican casos permitidos, las discontinuas casos prohibidos

Con la intención de fijar ideas, presentamos un sencillo ejemplo aritmético: la suma (véase la figura 4). El espacio de estados está dado por todas las líneas, rectas o quebradas que unen las tres rectas numéricas *a*, *b* y *c* (*a* y *b* representan los sumandos y *c* la suma). Las leyes de la suma restringen las líneas de unión, entre *a*, *b* y *c*, a únicamente aquellas en las cuales la intersección con c es igual a la suma de las intersecciones con a y b; las líneas punteadas de la derecha, aunque son lógicamente posibles, están prohibidas por las leyes de la teoría. Las líneas admisibles representan al conjunto de modelos.

La concepción estructuralista de teorías

La importancia de presentar aquí un esbozo de la concepción estructuralista de teorías radica, por un lado, en que de ella se deriva una poderosa herramienta para analizar la estructura conceptual de las teorías y dar cuenta de los principales rasgos de sus dinámicas. Sin embargo, es relevante señalar que, junto a ese enorme potencial, su complejidad inhibe en buena medida su aceptación entre la comunidad científica.

Para la concepción estructuralista, los modelos se presentan en forma de una estructura, de manera similar a como se hace en la teoría matemática de modelos. Así, un modelo teórico (m) se representa por una tupla ordenada que incluye determinados dominios y relaciones o funciones entre ellos:

$$m = \langle D_1, D_2, ..., D_k, R_1, R_2, \ldots, R_n \rangle$$

Se pide además que dominios y relaciones satisfagan las restricciones estructurales y funcionales («nómicas» o «legales» o simplemente «leyes»), propias de la teoría. Éstas se introducen en forma de postulados expresados en el lenguaje de la teoría informal de conjuntos.[5] Esta decisión metodológica descansa en la firme convicción de que «lo que puede decirse en ciencia, puede decirse en términos de elementos, propiedades y relaciones». Si esto último es cierto, la teoría informal de conjuntos es una excelente herramienta para la reconstrucción de las teorías científicas, pues sus predicados se refieren a elementos, propiedades (representadas por conjuntos) y relaciones (también representadas por conjuntos).

Siguiendo a Díez y Moulines (1999) cabe señalar que en los modelos de una teoría se distingue entre el «aparato conceptuador» y su «aparato propiamente constrictivo» (las leyes propias). El primero incluye los conceptos fundamentales de la teoría y algunas restricciones estructurales. El segundo establece la forma de funcionamiento de las entidades postuladas por la teoría. Así, los modelos indican qué es lo que hay y cómo se comporta.

Una porción del aparato conceptuador, representa la base de contrastación de la teoría en cuestión[6] y se describe utilizando únicamente términos previamente disponibles («términos T noteóricos»), cuya identificación o determinación no presupone la validez de las leyes o restricciones postuladas por la teoría.[7] La porción complementaria incluye los conceptos propios de la teoría («términos T teóricos»), aquellos que se postulan para explicar los datos o fenómenos de la porción del mundo sobre la que versa la teoría.

Los modelos que describen o representan a aquellos sistemas del mundo en los que se pretende aplicar la teoría, son subconjuntos de su base de contrastación. Para determinar exac-

---

5. En favor de la exposición, no introducimos el tecnicismo estructuralista, nos limitamos a describirlo. Quien esté interesado puede consultar: Balzer, Moulines y Sneed 1987; o desarrollos más recientes en: Balzer, Sneed y Moulines 2000.

6. También llamada dominio de aplicación, o base de datos, o en la jerga de la concepción estructuralista: Modelos Potenciales Parciales (MPP).

7. Esto se exige pues de no hacerlo la teoría se tornaría auto-justificante y en consecuencia no empírica.

tamente cuáles son, es necesario añadir un componente intencional que indique cuál es la interpretación correcta de sus términos.[8]

El esquema general de comportamiento del mecanismo (causal) propuesto por la teoría se denomina «ley fundamental»y enlaza de manera sinóptica, de alguna manera, a todos los conceptos postulados por la teoría; es de carácter tan general que no corresponde tanto a una ley propiamente dicha como a un esquema de ley, pues es empíricamente irrestricta.[9]

Las constricciones que instancian y cargan de contenido empírico el esquema de la ley fundamental, se denominan «leyes especiales propias». Tomadas conjuntamente con la ley fundamental, se comprometen con ciertos estados de cosas (la conjunción de ambas leyes no es empíricamente irrestricta).[10] Las relaciones que involucran conceptos de diferentes modelos pueden diferenciarse en: *a*) aquellas que solamente involucran modelos teóricos de la misma teoría (condiciones de coherencia o ligaduras)[11]

---

8. Por ejemplo, para identificar los modelos (m) de la Mecánica Clásica de Partículas (MCP), no basta señalar que m = <P, S, T, σ, φi, μ> y añadir algunas restricciones conjuntistas (tanto estructurales como nómicas o legales). Dado que los sistemas así caracterizados todavía admiten múltiples interpretaciones, además es necesario decir que P se interpreta como un conjunto de partículas, S como el espacio euclídeo isomorfo con IR3, T como una sucesión de instantes isomorfa con un segmento de IR, σ como la función posición (dos veces diferenciable en S), φi como un conjunto de funciones fuerza y μ como la función masa. Ahora bien los modelos de la base de contrastación de MCP se caracterizan sólo en términos cinemáticos, <P, S, T, σ> sin recurrir a los conceptos propios: fuerza y masa.

9. Un conocido ejemplo de ley fundamental es el segundo principio de la mecánica clásica de partículas (para cada partícula y en cada instante de tiempo, la suma vectorial de las fuerzas que actúan sobre dicha partícula es igual al producto de su masa por su aceleración), mientras no se nos indique exactamente cuántas y cuáles fuerzas existen (o son admisibles), cualquier movimiento de los cuerpos puede ser «explicado» por la ley si se postulan las fuerzas adecuadas. Si bien en la conocida expresión «Σφi = ma» ciertamente no están representados todos los conceptos de la teoría, puede señalarse que la aceleración (a) presupone a los términos cinemáticos faltantes P, S, T y σ.

10. Siguiendo nuestro ejemplo, la conjunción del segundo principio con la ley de gravitación universal, no es compatible con cualquier órbita. Si la fuerza de gravedad fuese inversamente proporcional al cubo, y no al cuadrado de las distancias, las órbitas planetarias serían espirales y no elipses.

11. Por ejemplo, la preservación de la masa asignada a un determinado objeto a lo largo de los distintos modelos de la mecánica clásica de partículas.

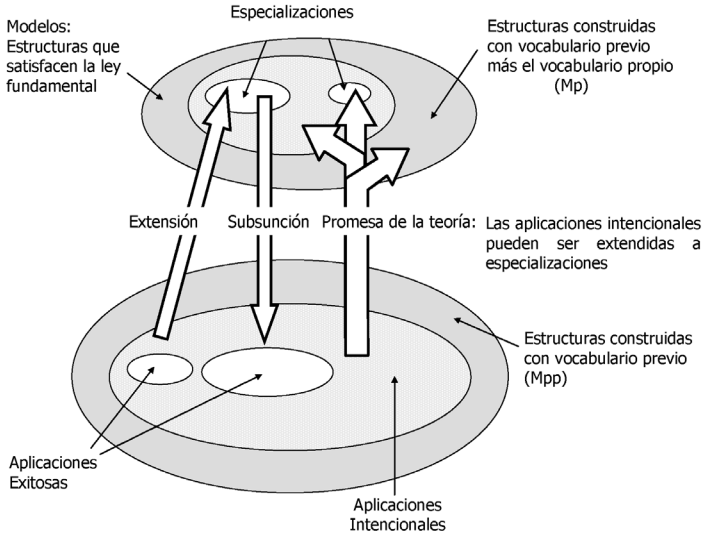


FIGURA 5. Visión general de la propuesta de la concepción estructuralista

y *b*) aquellas que involucran modelos de otras teorías (leyes puente).[12]

Justo es decir que las precisas sutilezas del tecnicismo estructuralista no son todo lo claras que sería deseable. Esta situación puede remediarse si se les dota de una interpretación gráfica que contribuya a su mejor comprensión. La figura 5 refleja la estructura macro de la propuesta de la concepción estructuralista.

Los grafos representacionales: una nueva propuesta semanticista

Aunque valoramos muy positivamente los trabajos de Leibniz, de Comenius, de Neurath y de los estructuralistas, no compartimos ni el optimismo del primero sobre la universalidad u objetividad de su herramienta para el pensamiento, ni la falta de

12. Por ejemplo, las relaciones entre la mecánica clásica de partículas y la mecánica del choque o la mecánica del sólido rígido.

sistematicidad del segundo, ni (irónicamente) la metafísica radicalmente empirista del tercero, ni la excesiva complejidad técnica y énfasis teoricista de los últimos. A continuación adelantamos dos ideas primordiales de nuestra propuesta.

Primera. Postular un modelo es postular la existencia de un conjunto de entidades (objetos o sistemas) y distintas relaciones entre ellos.

Segunda. Si las entidades se sustituyen por puntos o íconos y las relaciones por flechas, la estructura conceptual del modelo puede representarse mediante un grafo o un pictograma.

A modo de ilustración se presenta el grafo de la estructura conceptual de la genética mendeliana.

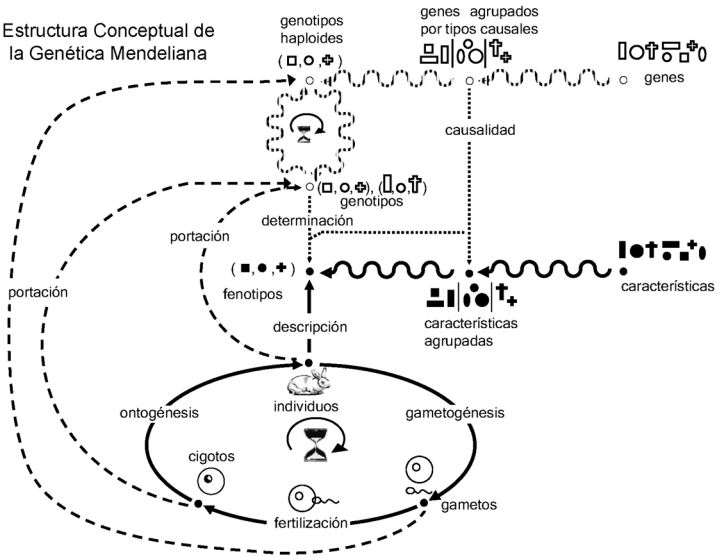


FIGURA 6. Grafo de la genética mendeliana (complejidad intermedia)

No podemos presentar aquí la forma adecuada de leer este tipo de grafos representacionales, Sin embargo, queremos trasmitir la idea de que plasman, de manera tan precisa como se desee, la estructura conceptual de la teoría y, por consiguiente, su capacidad explicativa. Únicamente señalaremos:

i) Las flechas onduladas indican estructuraciones (operan sobre entidades conceptuales previas y permiten obtener determinadas combinaciones, recombinaciones, o selecciones de ellas).

ii) El resto de las flechas indican funciones, es decir asocian de manera dirigida las entidades relacionadas por la flecha.

iii) Los diferentes patrones de las flechas ponen de relieve distintos papeles epistémicos. Las negras, representan la pregunta fundamental de la genética clásica, a saber: ¿por qué de determinados progenitores se obtienen vástagos con ciertas características? (otra manera de plantearla sería: ¿cómo se transmiten las características a lo largo de las generaciones?). Tal pregunta puede representarse como una concatenación o ensamble de flechas (negras) que inicia con los individuos (padres), pasa por los gametos, continúa con los cigotos, regresa a los individuos (hijos) y finalmente asocia una descripción a éstos. A su vez, la descripción se obtiene mediante dos estructuraciones consecutivas de las características mendelianas.

iv) Las flechas de guiones, marcadas portación, representan la idea de que individuos y cigotos portan genotipos (diploides), en tanto que los gametos portan genotipos haploides. Su función es la introducción de los términos Genético-Teóricos.

v) Las estructuraciones bandeadas en la parte superior representan el cálculo de la teoría. Dos estructuraciones nos indican cómo obtener genotipos (diploides) a partir de genotipos haploides y viceversa, y las otras dos nos permiten obtener los genotipos haploides a partir del conjunto de genes.

vi) Finalmente, las flechas de puntos nos indican: una, la relación de causalidad que existe entre genes y características y la otra, considerando los resultados de la primera, determina fenotipos a partir de genotipos.

La presentación anterior posee una complejidad intermedia. Un diagrama más desglosado, entre otros aspectos, diferenciaría distintas generaciones y distintos sexos, e incluiría las reglas de asociación específica detrás de cada función (o, al menos indicaría si éstas se determinan empíricamente o mediante algún algoritmo conocido).

Este tipo de representaciones permite, distintos niveles de profundidad en el análisis, de manera análoga a un acercamiento (*zoom in*) o una panorámica (*zoom out*) de una cámara de

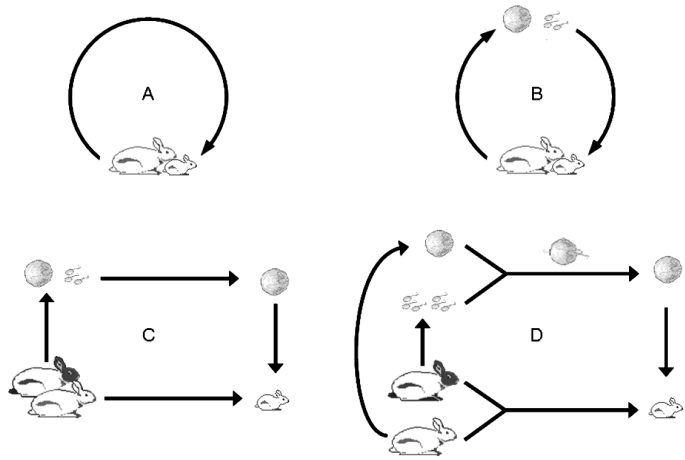


FIGURA 7. Reproducción sexual de metazoarios representada con diferentes niveles de complejidad

cine. Esta propiedad permite un acercamiento progresivo a los distintos temas, a la vez que respeta el nivel de detalle o complejidad específica de los mismos.

A manera de ilustración, la figura 7 muestra distintos niveles de acercamiento a la reproducción de los metazoarios sexuados. Por supuesto que la imagen podría llenarse de detalles *ad nauseaem*, pero esto es suficiente para presentar la idea.

Los modelos de las ciencias empíricas no son náufragos en una isla desierta, poseen múltiples vínculos con diversos modelos. Más aún, tales vínculos forman parte de sus criterios de identidad. En la forma de representación icónica propuesta aquí, no existe ningún problema para la incorporación de tales vínculos. Las leyes puente pueden ser representadas mediante flechas que enlacen los modelos en cuestión o incluso puede darse una sobreposición parcial de los modelos.

Llegados a este punto, cabe preguntarse por la pertinencia de contar con un marco que permita la organización, o al menos cierta sistematicidad, en la presentación de las relaciones interteóricas. En nuestra opinión el material se puede organizar con base en la jerarquía de niveles de integración de la materia (del nivel atómico al astronómico).

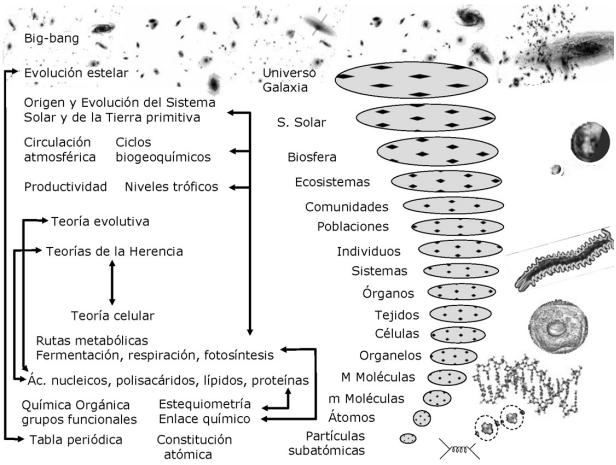


FIGURA 8. Teorías y modelos científicos con los niveles ontológicos asociados

La figura 8 ilustra —muy someramente y de manera incompleta— esta idea. En la parte central, se enlistan los rótulos de los distintos estratos ontológicos con elipses adyacentes cuyos tamaños delatan el crecimiento monótono de la escala de los fenómenos del estrato en cuestión. A la izquierda del listado, se indican algunas teorías o modelos científicos del nivel correspondiente; las flechas verticales representan posibles relaciones interteóricas entre niveles.

Al respecto, conviene precisar: ciertamente las entidades incluidas en un estrato ontológico están conformadas por las que figuran en el nivel inmediato inferior (por ejemplo, las poblaciones están constituidas por individuos); sin embargo, esto no implica que las leyes del nivel superior siempre se reduzcan a las del inferior o, dicho de otro modo, que el comportamiento de los entes del rubro superior se puede colegir de las teorías gobernantes de la franja inferior. De cualquier manera, la jerarquía por niveles ontológicos sirve de marco para organizar las relaciones interteóricas.

Para concluir señalaremos una ventaja adicional de este tipo de representaciones que nos remite a las ideas originales de Leibniz: La representación de entidades por puntos o íconos y de funciones por flechas permite una cierta diagramatización del cálculo.

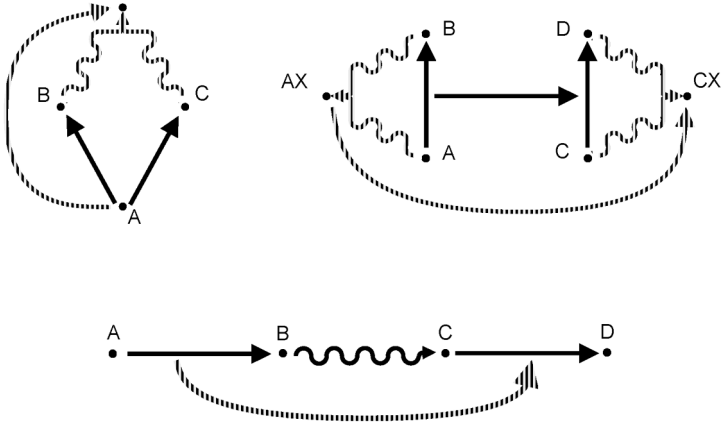


FIGURA 9. Obtención de inferencias mediante sistemas diagramáticos. Las flechas negras corresponden a diagramas y las bandeadas a algunos teoremas que se obtienen a partir de ellos

La figura 9 ilustra esta idea. Las flechas negras muestran algunas estructuras topológicas iniciales de las que se infieren las representadas por las flechas bandeadas. En este tipo de diagramas la lógica y las matemáticas son las maneras de postular nuevos puntos y nuevas flechas. Los primeros mediante definiciones y las segundas mediante inferencias.

A manera de conclusión

Cohen (1954) suministró tres criterios que debe satisfacer cualquier sistema que pretenda ser considerado una versión de la *characteristica universalis*:

1. Que sea una lengua internacional auxiliar que permita la comunicación entre hablantes de lenguas distintas.
2. Que sea un simbolismo que permita la expresión exacta y sistemática de todo el conocimiento actual, susceptible de ser ampliada para incorporar conocimientos futuros y permita un tratamiento lógico del conocimiento de tal manera...
3. Que sirva de instrumento de descubrimiento y demostración.

En nuestra opinión, los grafos representacionales que hemos bosquejado aquí satisfacen los tres criterios.

Referencias bibliográficas

BALZER. W., C.U. MOULINES y J. SNEED (1987), *An Architectonic for Science. The Structuralist Program,* Reidel, Dordrecht.

—, J. SNEED y C.U. MOULINES (eds.) (2000), «Structuralist Knowledge Representation: Paradigmatic Examples», en *Poznan Studies in the Philosophy of the Sciences and the Humanities*, vol. 75.

BODEMANN, E. (comp.) (1895), *Die Leibniz-Handschriften der Königlichen Öffentlichen.* Bibliothek zu Hannover, Hannover.

BOOCH, G., I. JACOBSON y J. RUMBAUGH (2000), *El proceso unificado de desarrollo de software,* Addison Wesley Iberoamericana, Madrid. *CMAP* http://cmap.ihmc.us/

BORGES, J.L. (1952), «El idioma analítico de John Wilkins», en *Otras inquisiciones*, *Obras completas (1923-1972)*, Emecé, Buenos Aires, 1974, pp. 706-709; versión electrónica de Antii Kartunen, disponible en http://ndirty.cute.fi/~karttu /tekstit/wilkins.htm

COHEN, J. (1954), «On the Proyect of a Universalis Character», en *Mind*, vol. 63, pp.49-63.

COMENIUS, J.A. (1658), *Orbis Sensualim Pictus,* CONACYT- Miguel Ángel Porrúa, México, 2005.

COUTURAT, L. (1901), *La Logique de Leibniz*, Felix Alcan, París; disponible en Internet: http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k110843d y también en traducción inglesa de D. Rutherford: http://philosophy2.ucsd .edu/~rutherford/Leibniz/intro.htm

DE OLASO, E. (ed.) (2003), *Gottfried Wilhem Leibniz Escritos filosóficos*, Machado libros, Madrid.

DESROSIÉRES, A. (1993), *La politique des grands nombres. Histoire de la raison statisque,* La Découverte, París.

DÍEZ, J. y C.U. MOULINES (1999), *Fundamentos de filosofía de la ciencia,* 2.ª ed., Ariel, Barcelona.

JAENECKE, P. (1996), «Elementary Principles for Representing Knowledge» en: *Knowledge Organization*, vol. 23, pp. 88-102.

LEIBNIZ, G.W. (1680), «Scientia generalis», en *Die Philosophische Schriften von Gottfrried Wilhelm Leibniz,* edición de G.D. Gerhard, 7 vols., Georg Olms Verlag, Hildesheim-Nueva York, 1971, vol. VII.

— (1966), *Logical Papers, A Selection Translated and edited* by G.H.R. Parkinson, Oxford University Press, Oxford.

— (1969), «On the General Characteristic», en Leroy Loemker (ed.), *Leibniz: Philosophical Papers and Letters,* D. Reidel, Dordrecht.

NEURATH, O. (1936), *International Picture Language*, reimpresión: Uni-

versity of Reading, Department of Typography & Graphic Communication, Londres, 1980.
SOWA, J.F. (1976), «Conceptual Graphs for a Database Interface», en *IBM Journal of Research and Development*, vol. 20, n.º 4, pp. 336-357.
— (1984), *Conceptual Structures: Information Processing in Mind and Machine,* Addison-Wesley, Reading, MA.
— (ed.) (1992), «Knowledge-Based Systems», Special Issue on *Conceptual Graphs*, vol. 5, n.º 3, septiembre, 1992.
— (2000), *Knowledge Representation: Logical, Philosophical, and Computational Foundations*, Brooks Cole, Pacific Grove, California.
THAGARD, P. (1992), *Conceptual Revolutions,* Princeton University Press, Princeton.
TUFTE, E. (1983), *The visual Display of Quantitative information,* Graphic Press, Cheshire.
VAN FRAASSEN, B.C. (1989), *Laws and Symmetry,* Clarendon Press, Oxford. *VisualThesaurus:* http://www.visualthesaurus.com
VV.AA. (2007), «After Neurath», exposición en el *Imaginary Museum,* http://imaginarymuseum.org/MHV/PZImhv/NeurathPicture Languag.html

PERFILES DE LA SIMULACIÓN CIENTÍFICA

Víctor Rodríguez
Universidad Nacional de Córdoba (Argentina)

Introducción

Dado que se trata de un coloquio transdisciplinario cuyo tema principal es la imagen, el objetivo de este trabajo es brindar un breve panorama de las simulaciones científicas y en particular, de las simulaciones computacionales que involucran de un modo u otro imágenes. Se sostiene aquí, y ésta es la propuesta para consideración de los participantes, que en el caso de las imágenes, esta dinámica conceptual y operativa está obligando a aceptar una dimensión considerablemente original de las prácticas científicas. Adicionalmente, se afirma que su análisis epistemológico muestra niveles de generalidad y abstracción que no pueden soslayarse a los fines de una adecuada ponderación de la actividad científica contemporánea. El punto de vista que se intenta defender es que, bajo una mirada de grano grueso, no existe solución de continuidad entre una implementación cotidiana de un modelo computacional aplicado a una actividad científica concreta —desde las computadoras de escritorio hasta los centros de supercomputación—, y el abanico de aplicaciones potenciales en la investigación científica provenientes de las teorías abstractas de la computabilidad elaboradas desde la lógica matemática, las matemáticas y las caracterizaciones existentes de alto grado de abstracción de los algoritmos y heurísticas.

Naturalmente, el panorama que se expone para ilustrar este enfoque estará limitado y sesgado por varios factores. En primer lugar, por enfoques personales que son producto de un conjunto de exploraciones previas realizadas de manera individual y en

colaboración con varios colegas sobre algunas facetas del tema en consideración.[1] En segundo lugar, por el grado de acercamiento a los tópicos seleccionados. Éste es un aspecto delicado ya que, por elegir una estrategia de tipo «de abajo hacia arriba», el exuberante desarrollo de muchas líneas de investigación actuales hace prácticamente imposible seguir paso a paso las sutilezas técnicas que afloran continuamente en cada enfoque.[2] Aún cuando el tema general que nos convoca en este evento es el de las imágenes, —que configura sólo un pequeño mundo dentro de las prácticas computacionales actuales—, el subconjunto de tópicos que cae bajo este rubro es demasiado grande como para poder seguirlo en detalle. Hay numerosos ámbitos de simulaciones interesantes en disciplinas particulares que no serán objeto de análisis aquí. En tercer lugar, aún cuando se puede intentar complementar el enfoque citado con uno de tipo «de arriba hacia abajo», hay una considerable zona intermedia que se resiste a un esclarecimiento adecuado. Como es usual, la zona «baja» es la preferida de los libros de texto y monografías especializadas que pretenden colocar los tópicos en contextos comprensibles, sensibles a la aplicación. Mucho de ello se encuentra más cerca de la *techne* que de la *episteme*.

La primera estrategia, *abajo- arriba*, pretende hacer justicia con el estado de las prácticas científicas y tecnológicas asociadas con las simulaciones. La segunda, *arriba-abajo*, intenta enmarcar este ámbito dentro de reflexiones más generales acerca del conocimiento, sus peculiaridades y sus límites. Finalmente, la cota temporal de la exposición obliga a un equilibrio entre la cantidad de tópicos elegidos para considerar y el grado de desarrollo de cada uno de ellos. Esto siempre es un riesgo en las exposiciones pretendidamente panorámicas. No obstante, aún cuando ciertos temas sólo queden escuetamente mencionados, se prefiere incorporarlos insinuándolos como ingredientes del paisaje, con el deseo de que la discusión posterior eventualmente los profundice.

---

1. Para estos trabajos e información sobre las actividades de grupos de investigación relacionados con el tema en la Universidad Nacional de Córdoba (Argentina), contactar con el autor: gauchovrr@gmail.com

2. Como la lista de páginas web y de revistas especializadas sobre temas computacionales es realmente muy extensa, en esta presentación sólo se ha citado a un conjunto de libros y algunas monografías sobre temas especiales.

De la simulación a la simulación computacional

Es necesario dejar establecida una diferencia entre dos tipos generales de simulaciones que se han venido desarrollando en la historia de la ciencia. Por un lado, están los modelos destinados de un modo u otro a «salvar las apariencias», en muchos casos elaborados a los fines de enfoques explicativos o como cálculos predictivos. Por el otro, están los relativamente recientes pero vertiginosos desarrollos de los tratamientos computacionales de modelos y teorías científicas. En este ámbito dual, la interacción entre simulación y modelo ha exhibido variantes de interdependencia que merecen atención especial. Es bien conocido que las computadoras ampliaron enormemente la potencia de cálculo, pero no lo es tanto el modo en que estos nuevos cálculos han ido incidiendo en la metamorfosis de los modelos científicos. Esto toca a un tema más sutil que lo que aparenta y que obliga a respuestas muy elaboradas de la siguiente pregunta. ¿Cómo las computadoras han llegado a constituirse en protagonistas tan destacadas de la investigación científica contemporánea? Hay varios enfoques posibles igualmente interesantes para atacar esta pregunta. El adoptado aquí es de tipo panorámico, pero en sintonía con una frase acuñada hace algunos años en el título de un libro, «cómo la simulación está cambiando las fronteras de la ciencia» (Casti 1997).

En la práctica científica, es usual intercambiar los conceptos de simulación y modelo para referirse a una inmensa gama de aplicaciones de ejercicios computacionales en diferentes disciplinas. Esta vorágine productiva ha ido ganando prestigio y respeto entre los científicos, y muchos de ellos ya aceptan la existencia de una nueva disciplina: la ciencia de la computación. Uno de los principales elementos que suministra esta área es una rica y novedosa interfase entre teoría y experimentación, sugiriendo que esa intersección tiene una vida lo suficientemente robusta como para merecer considerable autonomía disciplinar. ¿Un nuevo tipo de ciencia? Algunas propuestas en esta dirección han llegado a transformarse en líneas robustas de investigación (ver, por ejemplo, Wolfram 2002).

El arte de calcular en base a modelos es tan viejo como la historia de la ciencia. En muchos casos, los cálculos cedieron el protagonismo a variantes de representaciones, vía analogías,

metáforas, gráficas, diagramas, esquemas. Esto ha sido abordado de muchas maneras. Aquí se rescata una dimensión filosófica próxima al ficcionalismo, en el estilo de salvar las apariencias. Se ha sostenido en un trabajo reciente que el ficcionalismo filosófico, desde Vaihinger a Duhem, provee un enfoque interesante para analizar la dinámica de las simulaciones. El punto de vista defendido es que a las versiones morales, modales y matemáticas del mismo, habría que agregarles condimentos pragmáticos para extender dicho enfoque al ámbito de la computación en ciencia (Rodríguez 2007). Esta lectura pragmática ofrece ángulos atractivos para las disciplinas científicas próximas a la experimentación, siendo en este sentido la simulación un nexo ineludible en la relación entre teoría y experimentación En cambio, en otros campos, como la cosmología, las estrategias no son diferentes a las de los modelos astronómicos clásicos. En estos casos, las simulaciones generan heurísticas útiles para la posterior elaboración de modelos explicativos y predictivos, pero sin incidencia directa en la experimentación. No podemos constreñir el cosmos a un laboratorio, salvo vía procesos físicos que se estiman similares, como se pretende a veces en laboratorios de altas energías (Rodríguez 2006).

La historia de la ciencia, y en especial de la matemática, muestra ejemplos altamente sofisticados de procedimientos desarrollados con los fines de simular fenómenos. Desde la geometría clásica a las ecuaciones diferenciales. Mucho antes del nacimiento de la computadora que hoy nos invade, los cómputos contribuyeron a generar modelos tendientes a simular fenómenos. Las características dominantes fueron las aproximaciones numéricas, geométricas y algebraicas. En mecánica celeste, por ejemplo, el tratamiento de los movimientos de la Luna durante el siglo XIX y primera mitad el siglo XX estuvo dominado por este estilo de investigación. Esto lleva a un tópico de gran interés epistemológico: la evolución de los cálculos, y consecuentemente de los algoritmos y heurísticas asociados a ellos. Como supo decir el físico Richard Feynman, cuando un cálculo es suficientemente robusto, puede transformarse en un nuevo descubrimiento.

En el último siglo, la evolución del estudio de los sistemas dinámicos ha contribuido en gran medida a integrar simulaciones con grandes áreas de la matemática. Ejemplos de caos, frac-

tales y cuestiones afines son moneda corriente en la modelización actual. En los ambientes científicos se suele interpretar que cada modelo o representación de un proceso o fenómeno es un modo de simulación, aceptándose normalmente que este término está irremediablemente mal definido y plagado de vaguedades. Los ejemplos son claros; la conceptualización es difícil y muchas veces considerada irrelevante. La simulación, por otra parte, está frecuentemente vinculada en muchos campos con el estudio de sistemas y procesos complejos. La elaboración de simulaciones tiene que ver usualmente con la probabilidad y la estadística. Sin embargo, muchas estrategias están todavía próximas a nuestras facultades cognitivas y en ese sentido apelan a modos de representación familiares.

Desde la década de 1940 la computadora se ha transformado en un protagonista central en la investigación científico-tecnológica contemporánea. Para los fines de este trabajo, es de interés ver el rol de von Neumann en los orígenes de la computadora (Aspray 1990). La versatilidad, universalidad y talento de este matemático, entre otros protagonistas de la época, contribuyeron a generar un amplísimo campo de aplicaciones del nuevo instrumento. La tentación inmediata fue simular fenómenos meteorológicos, dinámica de fluidos, procesos atómicos y nucleares, astrofísicos, etc. En este nuevo ámbito de investigación puede verse claramente la transformación del análisis numérico, recuperando métodos tediosos por las extensiones de los cálculos involucrados, y una insinuante proyección de la computadora como instrumento científico. En los últimos años hay resultados que permiten apreciar cambios respetables en relación con el rol de los cálculos y las simulaciones. Las simulaciones en ingeniería, por ejemplo, se han extendido a dominios muy amplios, donde cambios en partes de un sistema pueden producir cambios significativos en otras partes del mismo. La investigación de operaciones, la ciencia de la administración, el análisis de sistemas, muestran facetas importantes del cambio en torno del concepto de simulación y sus aplicaciones.

En dominios específicos, como el ajedrez, el *output* obtenido ha logrado producir resultados no esperados, lo que lleva a estimar que en esos procesos de cómputo e inferencias se logra algo de cierto valor epistémico (Stork 1997). Esta alusión a un ámbito especializado como el ajedrez requiere una aclaración adicio-

nal. Aunque ya fue imaginado en los comienzos de la computación, hace pocos años que se pueden establecer distinciones importantes entre cómputo e inferencia. Numerosos campos han crecido como consecuencia de esta bifurcación. Entre ellos, el sector del aprendizaje automatizado merece especial consideración. Es todavía un ideal sin plena realización lograr una máquina que aprenda en un sentido fuerte, esto es, que trabaje con inferencias ampliativas robustas y que tenga eficacia en las estrategias auto-correctivas, para aprender de la información generada y de los errores de estimación y ajuste a los modelos. Las publicaciones sobre el tema muestran el lento pero efectivo desarrollo del mismo (Shavik y Dietterich 1990; Buchanan y Wilkins 1993).

Toda esta dinámica puede ser vista desde la óptica de la artesanía de la simulación y generación de modelos orientados a diferentes fines. Naturalmente, muchos de estos desarrollos no son pertinentes para el tema en cuestión aquí, pero es difícil establecer una línea nítida de corte en relación con el rol de las imágenes en las simulaciones, ya que aparecen vestigios de imágenes en diferentes niveles de abstracción. Un caso que ilustra bien esto es el ámbito de la búsqueda de patrones y la resolución de problemas en sistemas expertos. Se conjetura aquí que hay ejercicios de taxonomías en este campo que tienen gran riqueza conceptual potencial a la hora de intentar clasificar modos de tratamientos de imágenes (ver Puppe 1993). Se han clasificado los modelos de simulación de varias maneras. Un autor distingue entre modelos estáticos (de corte seccional) versus modelos dinámicos (de series de tiempo), modelos determinísticos *versus* estocásticos, discretos versus continuos, e icónicos o físicos versus analógicos o simbólicos (Shannon 1988). También se ha intentado aplicar un esquema similar del economista Paul Samuelson diseñado para clasificar teorías económicas, a los fines de una clasificación de programas computacionales (Pereyra y Rodríguez 2004). Estas taxonomías contribuyen, al menos parcialmente, a organizar el variadísimo campo de programas existentes y en ese sentido sirven para extractar elementos comunes de distintas implementaciones. En particular, el campo de la visión robótica y el de procesamiento de imágenes se ha enriquecido con estas ponderaciones de los perfiles, alcances y límites de los programas.

El reconocimiento de patrones, por otra parte, exhibe ciertas líneas generales diferenciadas. Un enfoque muy extendido, es el de los enfoques estadísticos. Si se hace una estimación global del uso del término «simulación» en los ambientes científicos, este enfoque ocupa un lugar destacado, aunque normalmente está también orientado al tratamiento del diseño de experimentos (Azarang y García Dunna 1996; Law y Kelton 2000; Ross 1999). Por otra parte, el campo ya muy especializado de las redes neurales tiene un protagonismo creciente en este dominio. El entrenamiento de las mismas, vía los algoritmos involucrados, produce modos de aproximación a las soluciones buscadas y en muchos casos presenta soluciones de gran riqueza conceptual. Es importante destacar aquí, por un lado, la interconexión espacial de las unidades de procesamiento, y por el otro, la estrategia de entrenamiento o aprendizaje. Esta red interconectada presenta fuertes características de no-linealidad. Además, la simulación de neuronas simplificadas tiene un precio, ya que en buena medida se trabaja como caja negra en relación con el elemento simulado (Fu 1994; Haykin 1994). Existe un tercer enfoque, que se suele llamar el enfoque estructural, que intenta dar cuenta de estructuras que no son fácilmente captables por los enfoques anteriores. Las exploraciones giran en torno a gramáticas formales y a descripciones relacionales, principalmente gráficas. Una estrategia común en este enfoque es la descomposición jerárquica de patrones complejos en patrones más simples.

Algunos autores consideran que, a pesar de las diferencias, existen buenas razones para buscar una integración de estos enfoques. Este objetivo no es tarea fácil, ya que hay diversas formas de entender estas cuestiones, dependiendo de la especialidad científica en consideración. Sin embargo, hay núcleos temáticos comunes que le dan un aire de familia al área: teoría de la optimización, teoría de la estimación, teorías de lenguajes. Las tres estrategias mencionadas comparten a veces objetivos y métodos, lo cual se refleja en aspectos matemáticos asociados con los algoritmos que se implementan. En el caso de los algoritmos de reconocimiento de patrones estadísticos, la dinámica conceptual se vincula a las probabilidades. Un elemento estimativo está siempre presente y exhibe facetas de la vieja estrategia de ensayo y error. Estas estrategias invaden áreas del procesamiento y análi-

sis de imágenes, como también campos como la búsqueda de patrones fonéticos en lenguas. El campo del reconocimiento de patrones toma conceptos y métodos de la inteligencia artificial, de la modelización neuronal, de la teoría de autómatas. Exposiciones panorámicas del campo, muestran un conjunto de ámbitos de aplicación: pre-procesamiento, segmentación y análisis de imágenes, visión computacional, análisis sísmico, clasificación y análisis de señales de radar, reconocimiento de rostros, reconocimiento y entendimiento del habla, identificación de huellas digitales, reconocimiento de caracteres, análisis de los escritos a mano, análisis y entendimiento de señales electrocardiográficas, diagnóstico médico, entre otros (Shalkoff 1992). En varios de estos sectores se han elaborado conceptos específicos para dar cuenta de la interfase entre el lenguaje de los algoritmos y el ámbito de fenómenos involucrados.

Otro elemento importante en juego es la arquitectura, tanto del *software* como del *hardware*. Los procedimientos computacionales son muy sensibles a ella, y esto involucra usualmente un buen estudio del diseño, como fase previa a la implementación de algoritmos y heurísticas para fines específicos. Aquí conviven las ciencias de lo artificial, con sus enfoques sobre la naturaleza del diseño (Simon 1996), la artesanía y tecnología existente para elaborar computadoras avanzadas (Hwang 1993), y aún teorías abstractas de la computabilidad, al menos en cuanto a potenciales desarrollos futuros (Van Leeuwen 1994). El intento de integrar estos ámbitos del diseño, ha llevado en ocasiones a la necesidad de esclarecer el concepto mismo de computación, asociado a las diferentes interpretaciones de las relaciones entre funciones recursivas y computabilidad, o al tratamiento de la tesis de Church-Turing. En este sentido, se han propuesto varios enfoques de la computación: como un concepto funcional; como manipulación de símbolos, en particular, como procesamiento físico de símbolos; o como un proceso gobernado por reglas. (Sloman en Millican y Clark 1996). Se sostiene en este trabajo que el tratamiento de las imágenes por vía artificial depende fuertemente de las proporciones de estos ingredientes en la implementación de los dispositivos de detección, análisis y procesamiento de la información. Hay dos campos que no formarán parte de esta exposición, pero que ilustran interesantes matices en relación con estos cambios en el

peso relativo de los diferentes dominios de investigación: la inteligencia artificial y la vida artificial (ver Bobrow 1994; Turban 1992; Russel y Norvig 1996, para IA; y Langton 1997; Lahoz y Beltrá 2004, para VA).

Por último, es necesario hacer al menos un breve comentario sobre el lugar que ocupan en todas estas actividades las bases físicas de los elementos que intervienen en las simulaciones. Sólo mencionaré tres estilos diferentes. En primer lugar, las simulaciones basadas en analogías físicas. El caso de la reflexión de Cayley sobre la forma de una trucha en relación con el agua es suficientemente ilustrativo. Él conjeturó que, por tratarse de un fluido, el desplazamiento de la trucha fue diseñando la forma; y por analogía sobre el comportamiento de los fluidos extendió esta hipótesis al diseño del perfil de un ala para el caso del aire; conjetura por cierto bastante exitosa (Ríos 1995, p. 27). Hoy existen muchos experimentos en diferentes áreas de la ciencia que están basados en analogías semejantes. Un segundo ejemplo es el de los algoritmos que pueden ser modificados de algún modo: algoritmos genéticos, evolucionistas, darwinianos (Michalewicz 1996). Se copia a la naturaleza en algún mecanismo y se intenta operar con esos elementos. Estas operaciones implementadas en programas computacionales se aplican hoy a ámbitos científicos muy variados. En tercer lugar, es digno de mencionar el caso de las implementaciones directas de procesos físicos, actuando como operadores para calcular sobre modelos que provienen de otros sectores. El ADN computacional es quizás el ejemplo más llamativo al respecto. Se diseña un dispositivo experimental en el que se dejan interactuar fragmentos de ADN previamente seleccionados, y el resultado de la interacción es usado como resultado de un problema planteado para otros fines (Lipton y Baum 1996). En otras palabras, estos elementos naturales actúan como procesadores de cálculos para resolver problemas específicos. Se estima que estos ejemplos son suficientes como para ilustrar la dependencia física de los procedimientos de cálculo. Si algún día se construye una computadora cuántica efectiva, ella mostrará seguramente alguna otra faceta inesperada de esta dependencia entre algoritmos y base física.

De la simulación computacional a las imágenes

El contexto planteado arriba pretende mostrar aspectos de las bases computacionales generales para el tratamiento de las imágenes. En lo que sigue, se harán algunas breves reflexiones sobre las relaciones entre estos dos dominios. En primer lugar, es necesario ponderar el alcance de la noción de imagen. Ella está ligada a la percepción en el ámbito de los humanos y a la recepción de señales en el dominio de las máquinas. En ambos casos, hay interfases activas entre detección y procesamiento. Es conveniente remarcar que, aunque los humanos exhibimos una gran dependencia de las imágenes visuales, también ocupan un lugar protagónico los otros sentidos y el rol de la memoria asociada a ellos. Las imágenes auditivas sugieren una característica distintiva que es el orden temporal. Aunque es común el intento de reducción del orden temporal a categorías espaciales, no parece lograrse un traslado completo de los contenidos de un campo al otro. Normalmente a estos intentos se los lleva a cabo por medio de estrategias de aceptación de grados de abstracción. De todos modos, el animal óptico y el pensamiento visual han dominado la escena en lo referido a las imágenes. En particular, la psicología *folk* sigue siendo un nexo importante entre imágenes y neurociencias cognitivas. Por otra parte, trabajos clásicos sobre la visión han establecido los nexos básicos entre estas disciplinas y la computación (Marr 1982). Este estilo de investigación ha contribuido en gran medida a fortalecer el deconstruccionismo vigente en materia de imágenes y técnicas de simulación. Si se atiende a la abstracción antes mencionada, se puede caracterizar la imagen en una gradación conceptual que va desde las impresiones *naive* hasta categorizaciones espaciales muy generales de tipo topológico. Entre estos extremos tienen vida los diagramas, esquemas y representaciones geométricas. En otras palabras, existe una intersección no nula entre enfoques icónicos y estructurales, aunque las fronteras de estas conexiones sean un tanto difusas.

La computación está aportando a la investigación en diversas áreas en relación con las imágenes: el reconocimiento de formas, la localización de objetos, el análisis de las escenas, la inspección visual automatizada, entre otros. Los campos de investigación de la visión de máquinas, y su vecino del reconocimiento

de patrones, están incorporando muchos resultados provenientes de áreas no destinadas originalmente al procesamiento de imágenes. En el terreno de la medicina, por ejemplo, se aprecian avances significativos de gran repercusión práctica (Höhne y Kikinis 1996; Troccaz *et al.* 1997).

En general, la estrategia *abajo-arriba* obliga a considerar un cúmulo gigantesco de aplicaciones en lo atinente a las imágenes. El tratamiento de las mismas con dispositivos computacionales presenta una gama de tópicos clásicos y numerosos temas de frontera. Por un lado, están las teorías físicas de la transmisión de información, incluida naturalmente la óptica. Esta disciplina ha crecido de tal manera que ahora se trata de un campo de investigación prácticamente irreconocible. La amplificación de señales con dispositivos electrónicos, la óptica adaptativa, las técnicas matemáticas involucradas, el desarrollo de modelos operativos para distinguir figura y fondo, señal y ruido, la traducción de tres a dos dimensiones, están mostrando una complejidad no imaginada previamente dentro de este sector de investigación. Por otro lado, la artesanía de elaboración de modelos ha puesto especial atención en la interrelación entre fenómeno, señal y registro. Hay capítulos de la ciencia contemporánea destinados a la búsqueda de señales que exhiben un alto grado de sofisticación al respecto. Un ejemplo conspicuo es el de la búsqueda de ondas gravitacionales. Puede decirse en este caso que la representación del fenómeno, de la señal, de los procesos de detección, conjuntamente con teorías subyacentes, configuran un cuerpo integrado de investigación con alto grado de interdependencia. Se asiste aquí a un sector de trabajo en el que se relaciona la construcción teórica de imágenes con su detección, lo que configura una especie de estrategia de realimentación en las heurísticas involucradas en ambas actividades.

Este tipo de prácticas —aunque no tan complicadas— está presente en los dominios de la búsqueda de patrones visuales-espaciales y la resolución de problemas en sistemas expertos. Suelen distinguirse allí niveles operativos. Una versión coloca en un nivel bajo tópicos como colores, imágenes binarias, tratamiento del ruido, filtrado, umbrales de detección, localización de objetos considerando sus bordes, achicamiento o afinamiento de imágenes. En un nivel intermedio, se ubican detecciones de líneas, círculos, elipses, polígonos, esquinas, y algunas transfor-

maciones que por su protagonismo tienen nombres especiales. Una de ellas, por citar un ejemplo, es la transformada de Hough, que se desarrolló con el fin de encontrar huellas en forma de líneas rectas en la trayectoria de partículas en física de altas energías. Posteriormente se extendió su uso a las investigaciones sobre análisis de imágenes. El método ha sido ampliado para asociar líneas con información sobre la orientación de bordes y a la localización de círculos y polígonos. En relación con los niveles mencionados, ellos tienen a su vez dominios de aplicación que presentan nuevos frentes de investigación: el movimiento, las tres dimensiones del espacio, los invariantes, la textura, la velocidad de procesamiento (Davies 1997).

En un grado de abstracción algo mayor, la presencia de la matemática domina el campo de las imágenes. Un puente con lo anteriormente expuesto es la relación entre visión y gráfica. Se ha visto a veces a la visión como gráfica inversa. Pero la visión es mucho más compleja que las gráficas; es más activa e involucra búsqueda y explosión combinatoria. Esto se suele ilustrar con la transformación de 3D a 2D, en la cual se pierde considerable información. Se han desarrollado varias técnicas matemáticas orientadas a dar cuenta de los fenómenos asociados a las imágenes, impresionando todo esto como un sector muy activo de investigación. Se mencionan aquí sólo algunas, con el fin de ilustrar el área:

a) La geometría discreta y computacional. Con temas como el empaquetamiento y el cubrimiento, el ensamblado de formas, la teoría de Ramsey de identificación de patrones en distribuciones aleatorias, la geometría estocástica, métodos topológicos, intersecciones geométricas, algoritmos aleatorizados. Este campo tiene aplicaciones diversas, como la modelización de sólidos, el estudio de la rigidez, la teoría de la codificación, los cristales, el reconocimiento de patrones, las gráficas computacionales, el dibujo de gráficos, la robótica (Goodman y Rourke 1997; Lin y Manocha 1996).

b) El álgebra de la imagen. Una teoría matemática vinculada con el análisis y la transformación de imágenes. Es un álgebra multi-valuada con conjuntos múltiples de operadores y operandos. Se extiende tanto al dominio discreto como continuo, con investigaciones tendientes a lograr una teoría unificada de ambos. Está inspirada en los trabajos de von Neumann de la déca-

da de 1950. Apunta a una base matemática para un formalismo teórico capaz de expresar un gran número de algoritmos para procesamiento y análisis de imágenes. Los diseñadores de arquitecturas de procesamiento en paralelo de imágenes comparten la creencia de que las grandes clases de transformaciones de imágenes pueden describirse por un pequeño conjunto de reglas estándar que inducen estas arquitecturas. La manipulación de imágenes, para los fines de la ampliación y análisis, involucra no sólo operaciones sobre imágenes sino también diferentes tipos de valores y cantidades asociadas a estas imágenes. Una imagen aquí consiste en dos cosas, una colección de puntos y un conjunto de valores asociados a esos puntos. Así, se asocian a las imágenes dos tipos de información: la relación espacial de los puntos, e información numérica o descriptiva asociada a esos puntos. De este modo, el álgebra de imagen vincula dos áreas de la matemática, la teoría de conjuntos de puntos y el álgebra de conjuntos de valores (Ritter y Wilson 1996).

Hay un conjunto de enfoques adicionales de tratamientos matemáticos por mencionar, pero por razones de brevedad, sólo se menciona finalmente el caso de la teoría de grafos. Este campo tiene conexiones con muchos sectores de investigación y refleja sutiles relaciones entre algoritmos, heurísticas, complejidad computacional y representaciones espaciales (Chartrand y Oellermann 1993). El problema clásico del viajante, que plantea el problema del recorrido de puntos sobre una superficie, ilustra la riqueza conceptual de los enfoques combinatorios asociados a los tópicos mencionados (Lawler *et al.* 1985). Al respecto, es interesante el tema abierto vinculado con el grado de tratabilidad de las imágenes. Como es sabido, el tema de la tratabilidad ocupa un lugar central en la teoría de la computabilidad, aunque el nivel técnico del tema lo deja fuera del panorama expuesto aquí en relación con las computadoras e imágenes.

Comentarios finales

Estas menciones breves de líneas matemáticas que investigan propiedades de las imágenes intentan ilustrar el alto nivel de abstracción a que se ha llegado en el tratamiento teórico de las

imágenes por computadora. Se estima que este pequeño paisaje alcanza para mostrar que el término «imagen» es tratado de diferentes modos en distintos sectores de la actividad computacional, pero que cada uno de ellos contribuye de algún modo a mejorar la comprensión integral del tema, a la vez que enriquece el sector de las aplicaciones. Desde una perspectiva epistemológica, todo esto puede ayudar a entender mejor las eventuales distinciones entre información con imágenes y sin ellas. Desde la perspectiva adoptada aquí en relación con la computación, este tema requiere como condición previa el reconocimiento de niveles de complejidad en los módulos que configuran el proceso: en el terreno de los fenómenos que producen las imágenes, en la transmisión de las mismas, y en la arquitectura y procesamiento del receptor. En una versión algo sombría pero sensible a la rica dinámica teórica y experimental que tiene este amplio campo, se podría decir que el mismo gira en torno del análisis de una interacción oscura —salvo en la luz visible— entre dos cajas negras. La primera caja alude a los grados de ignorancia acerca de los fenómenos y su entorno; la segunda, por un lado al desconocimiento que todavía se tiene sobre cómo funcionan nuestros cerebros, y por otro, a la precariedad existente hasta hoy en el diseño efectivo de máquinas que procesen información con el grado de complejidad deseado. Afortunadamente, la dimensión cognitiva humana en relación con las imágenes no se agota por estas limitaciones. Desde los *qualia* hasta la física, desde Wittgenstein hasta Max Born, hay muchas maneras de entender, por ejemplo, el color de un objeto.

Referencias bibliográficas

ASPRAY, W. (1990), *John von Neumann and the Origins of Modern Computing*, The MIT Press, Cambridge.

AZARANG, M. y E. GARCÍA DUNNA (1996), *Simulación y análisis de modelos estocásticos*, McGraw-Hill, México.

BOBROW, D. (ed.) (1994), *Artificial Intelligence in Perspective*, The Mit Press, Cambridge.

BUCHANAN, B. y D. WILKINS (eds.) (1993), *Knowledge Acquisition and Learning,* Morgan Kauffmann, San Mateo, California.

CASTI, J. (1997), *Would-Be Worlds. How Simulation is Changing the Frontiers of Science*. John Wiley & Sons, Nueva York.

CHARTRAND, G. y O. OELLERMANN (1993), *Applied and Algorithmic Graph Theory*, McGraw-Hill, Nueva York.
DAVIES, E. (1997), *Machine Vision*, 2.ª ed., Academic Press, San Diego.
FU, L. (1994), *Neural Networks in Computer Intelligence*, McGraw-Hill, Nueva York.
GOODMAN, J. y J. ROURKE (eds.) (1997), *Handbook of Discrete and Computational Geometry*, CRC Press, Boca Ratón.
HAYKIN, S. (1994), *Neural Networks. A Comprehensive Foundation*, Prentice-Hall, Londres.
HÖHNE, K. y R. KIKINIS (eds.) (1996), *Visualization in Biomedical Computing*, Lecture Notes in Computer Science 1131, Springer-Verlag, Berlín.
HWANG, K. (1993), *Advanced Computer Architecture. Parallelism, Scalability, Programmability,* McGraw-Hill, Nueva York.
LAHOZ-BELTRÁ, R. (2004), *Bioinformática. Simulación, vida artificial e inteligencia artificial*, Díaz de Santos, Madrid.
LANGTON, C. (ed.) (1997), *Artificial Life. An Overview*, The mit Press, Cambridge.
LAW, A. y W. KELTON (2000), *Simulation, Modeling and Analysis,* 3a Ed., McGraw-Hill, Boston.
LAWLER, E.L., J.K. LENSTRA, J.H.G. RINNOOY KAN y D.V. SHMOYS (eds.) (1985), *The Traveling Salesman Problem.* A *Guided Tour of Combinatorial Optimization,* John Wiley & Sons, Nueva York.
LIN, M. y D. MANOCHA (eds.) (1996), *Applied Computational Geometry. Towards Geometric Engineering*, Springer-Verlag, Berlín.
LIPTON, R. y E. BAUM (eds.) (1996), *DNA Based Computers,* DIMACS Series in Discrete Mathematics and Theoretical Computer Science, vol. 27, AMS, Providence, Rhode Island.
MARR, D. (1982), *Vision-A Computational Investigation into the Human Representation and Processing of Visual Information*, W.H. Freeman and Co., Nueva York.
MICHALEWICZ, Z. (1996), *Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs,* 3.ª Ed. ampliada, Springer-Verlag, Berlín.
MILLICAN, P. y A. CLARK (Eds.) (1996), *Machines and Thought. The Legacy of Alan Turing,* Oxford U.P., Oxford.
PEREYRA, Z. y V. RODRÍGUEZ (2004), «Hacia una clasificación de las simulaciones computacionales», en P. García y P. Morey (eds.), *Epistemología e Historia de la Ciencias*, vol. 10, n.º 10, FF y H-UNC, Córdoba (Argentina).
PUPPE, F. (1993), *Systematic Introduction to Expert Systems. Knowledge Representations and Problem-Solving Methods*, Springer-Verlag, Berlín.
RÍOS, S. (1995), *Modelización*, Alianza, Madrid.
RITTER, G. y J. WILSON (1996), *Handbook of Computer Vision Algorithms in Image Algebra,* CRC Press, Nueva York.

RODRÍGUEZ, V. (2006), *Evaluando la cosmología computacional*, V Encuentro de Filosofía e Historia de la Ciencia del Cono Sur- AFHIC, Florianópolis, Brasil.
— (2007), *Ficciones de papel y lápiz versus ficciones de silicio,* XIV Congreso Nacional de Filosofía, AFRA, Universidad Nacional de Tucumán, 2007.
ROSS, S. (1999), *Simulación*, 2.ª ed., Prentice Hall, México.
RUSSELL S. y P. NORVIG (1996), *Inteligencia Artificial. Un enfoque moderno,* Prentice Hall, México.
SCHALKOFF, R. (1992), *Pattern Recognition. Statistical, Structural and Neural Approaches,* John Wiley & Sons, Nueva York.
SHANNON, R. (1988), *Simulación de sistemas*, Trillas, México.
SHAVLIK, J. y T. DIETTERICH (eds.) (1990), *Readings in Machine Learning*, Morgan Kauffmann, San Mateo, California.
SIMON, H. (1996), *The Sciences of the Artificial,* 3.ª Ed., The MIT Press, Cambridge.
STORK, D.G. (ed.) (1997), *HAL´s Legacy. 2001´s Computer as Dream and Reality,* The Mit Press, Cambridge, Massachusetts.
TROCCAZ, J., E. GRIMSON y R. MÖSGES (eds.) (1997), *CVRMed-MRCAS'97: First Joint Conference Computer Vision, Virtual Reality and Robotics in Medicine and Medical Robotics and Computer-Assisted Surgery,* Grenoble, March 1997 Proceedings.
TURBAN, E. (1992), *Expert Systems and Applied Artificial Intelligence*, Macmillan, Nueva York.
VAN LEEUWEN, J. (ed.) (1994), *Handbook of Theoretical Computer Science*, vol.: *Algorithms and Complexity*, Elsevier, Amsterdam.
WOLFRAM, S. (2002), *A New Kind of Science,* Wolfram Media, Inc. Champaign IL.

SEMBLANZAS

MARIO CASANUEVA. Biólogo experimental por la UAM-Iztapalapa, México doctor en Filosofía de la Ciencia por la Universitat Autònoma de Barcelona. Es coeditor (con León Olivé) de *La Ciencia y sus métodos*. Es especialista en historia y filosofía de las teorías genéticas. Entre sus publicaciones recientes se encuentran: *Mendeliana,* que incluye la reconstrucción de tres redes teóricas con más de cuarenta especializaciones, y *Ciencia y representación,* coeditado con Alberto Benítez. Actualmente trabaja temas relacionados con diversas aproximaciones formales o semiformales al concepto de representación y tiene a su cargo el Departamento de Humanidades de la UAM-Cuajimalpa. <mario.casanueva@gmail.com>

BERNARDO BOLAÑOS. Es profesor-investigador de la Universidad Autónoma Metropolitana-Cuajimalpa. Es maestro en historia y filosofía de la ciencia por la Universidad Nacional Autónoma de México y la Universidad de París I y doctor en filosofía por la Universidad de París I. Entre sus publicaciones recientes se encuentran los libros *Argumentación científica y objetividad* (UNAM, México, 2002) y *Breve introducción al pensamiento de Blaise Pascal* (UAM, México, 2008). <bolagnos@yahoo.com>

GABRIELA FRÍAS VILLEGAS. Cursó las licenciaturas en Matemáticas y en Lengua y Literatura Inglesas Modernas, y la maestría en Filosofía de la Ciencia, en la Universidad Nacional Autónoma de México. Actualmente es coordinadora de Difusión y Divulgación del Instituto de Ciencias Nucleares de la misma institución. Ha publicado una docena de artículos de divulgación de la ciencia y ha participado en varios proyectos de investigación sobre la comunicación de la ciencia. <gabriela.frias@gmail.com>

SUSANA GÓMEZ. Es profesora de Historia y Filosofía de la Ciencia en la Universidad Complutense de Madrid. Su investigación se ha concentrado durante años en las teorías de la materia, la naturaleza

de la luz y la ciencia experimental en el siglo XVII. Ha desarrollado estos trabajos en la Universidad de Bologna, el Istituto di Storia della Scienza de Florencia y el Istituto Italiano per gli Studi Filosofici de Nápoles. Actualmente desarrolla un proyecto de investigación acerca del concepto de representación de la naturaleza y sus transformaciones entre los siglos XVI y XVII. <susanagl@filos.ucm.es>

ÁLVARO PELÁEZ CEDRÉS. Licenciado en Filosofía por la Universidad de la República, Uruguay. Maestro y doctor en Filosofía de la Ciencia por el Instituto de Investigaciones Filosóficas de la UNAM. Profesor-investigador de tiempo completo adscrito al departamento de humanidades de la UAM-Cuajimalpa. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores. Sus áreas de interés son: epistemología kantiana y neokantiana; historia de la filosofía del siglo XX; historia del Círculo de Viena; filosofía de la ciencia. Sobre estos temas ha publicado artículos en: *Ágora*, *Areté*, *Ideas y Valores*, *Signos filosóficos*, *Tópicos*, *Representaciones*, *Análisis filosófico*, y diversas compilaciones. <alvpelaez@hotmail.com>

SERGIO F. MARTÍNEZ. Investigador titular en el instituto de Investigaciones Filosóficas de la UNAM. Ha trabajado en filosofía de la física, la biología y actualmente en las implicaciones de las ciencias cognitivas y las ciencias del comportamiento para el planteamiento de problemas filosóficos en epistemología, filosofía de la tecnología y filosofía de la ciencia. Actualmente tiene un interés particular en incorporar, en una explicación filosófica de lo que es la ciencia, el papel que representan las imágenes en el desarrollo de explicaciones científicas. <sfmarmtz@gmail.com>

HERNÁN MIGUEL. Doctor en Filosofía (Universidad Nacional de La Plata) y Licenciado en Ciencias Físicas (Universidad de Buenos Aires). Profesor Titular de Introducción al Pensamiento Científico en el Ciclo Básico Común de la Universidad de Buenos Aires. Presidente de la Asociación de Filosofía e Historia de la Ciencia del Cono Sur (AFHIC) entre 2007 y 2009. Dirige dos grupos de investigación, ha publicado numerosos artículos en revistas especializadas y participado como autor o coautor en libros de física y de filosofía de la ciencia. <herny@mail.retina.ar>

XAVIER DE DONATO RODRÍGUEZ. Es investigador de la Universidad de Santiago de Compostela. Ha sido profesor invitado de la Universidad Autónoma Metropolitana de Iztapalapa (México). De febrero de 2006 a febrero de 2008 realizó una estancia postdoctoral en el Instituto de Investigaciones Filosóficas de la UNAM y previamente

se había doctorado en la Universidad de Munich (Alemania). Su área de investigación principal es la filosofía de la ciencia. Ha publicado en *Theoria*, *Crítica* y *Erkenntnis*, entre otras revistas y capítulos de libros. <xavier_donato@yahoo.com>

ANDONI IBARRA. Es profesor titular de Filosofía de la Ciencia en la Universidad del País Vasco / Euskal Herriko Unibertsitatea. Es editor de la revista *Theoria* y coordinador de la Cátedra Sánchez-Mazas en la misma universidad. Sus principales líneas de trabajo son: la epistemología de las prácticas representacionales en la ciencia, la construcción de las categorías ontológicas y epistemológicas de la ciencia, y la relación entre los procesos sociales y el cambio científico-técnico. <andoni.ibarra@ehu.es>

EDUARDO ZUBIA. Es astrofísico por la Universidad París-7, y trabaja como consultor en el área de las tecnologías de la información. Actualmente, prepara un doctorado sobre la epistemología de las imágenes en astrofísica, bajo la dirección de Thomas Mormann (Universidad del País Vasco), y sus líneas de investigación abarcan los campos de historia y filosofía de la ciencia, epistemología de las imágenes, astrofísica estelar y procesamiento digital de señales. <eduzubia@gmail.com>

DIEGO MÉNDEZ GRANADOS. Biólogo de formación, con doctorado en Humanidades por parte de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa (UAM-I, México). Trabaja cuestiones relativas a la representación y el cambio conceptual en las ciencias de la vida. Es autor de varios artículos en libros y revistas. Fue profesor visitante del Departamento de Humanidades de la UAM-Cuajimalpa (México), entre 2005 y 2007. Actualmente ocupa el cargo de profesor titular, en el Departamento de Ciencias de la Comunicación de la misma universidad. <mendezgranados@gmail.com>

VÍCTOR RODRÍGUEZ. Es profesor titular dedicación exclusiva en la Facultad de Filosofía y Humanidades,Universidad Nacional de Córdoba (Argentina). Tiene a su cargo las cátedras de Filosofía de la Ciencia, Historia de la Ciencia II, y Epistemología de las Ciencias Naturales. Dirige un grupo de investigación sobre temas de estas especialidades y ha dirigido tesis de doctorado y maestrías en varias universidades argentinas. Ha sido investigador visitante en universidades americanas y europeas. Sus principales áreas de interés en investigación son cuestiones epistemológicas de la física y la cosmología, las prácticas matemáticas contemporáneas y temas de computabilidad. <gauchovrr@gmail.com>

ÍNDICE

El giro pictórico, *por Bernardo Bolaños y Mario Casanueva* 7

La geometría pascaliana: heredera de las ideas de los pintores del Renacimiento, *por Gabriela Frías Villegas* 25

La ilustración científica y el engaño de los sentidos, *por Susana Gómez* 39

Sobre la geometría del conocimiento: Kant y Carnap, *por Álvaro J. Peláez Cedrés* 73

Elementos para una epistemología de los diagramas, *por Sergio F. Martínez* 93

La representación gráfica de las interacciones causales, *por Hernán Miguel* 113

La analogía mapa-teoría: la representación científica y el «giro visual», *por Xavier de Donato* 157

Las imágenes digitales en astrofísica: mediadores numéricos entre observación y teoría, *por Andoni Ibarra y Eduardo Zubia* 171

Extraños paisajes virtuales de la ecología: el coenoespacio y la representación de comunidades bióticas, *por Diego Méndez Granados* 189

Transmisión visual del conocimiento, *por Mario Casanueva* 213

Perfiles de la simulación científica, *por Víctor Rodríguez* 235

Semblanzas 251